



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



# **ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА**

Едиција: Техничке науке - зборници

Година: XXXVI

Број: 9/2021

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“

Година: XXXVI

Свеска: 9

Издавач: Факултет техничких наука Нови Сад

Главни и одговорни уредник: проф. др Раде Дорословачки, декан Факултета техничких  
Наука у Новом Саду

#### **Уредништво:**

Проф. др Раде Дорословачки

Проф. др Александар Купусинац

Проф. др Срђан Колаковић

Проф. др Борис Думнић

Проф. др Дарко Стефановић

Проф. др Себастиан Балаш

Проф. др Драган Ружић

Проф. др Мирослав Кљајић

Проф. др Дубравко Ђулибрк

Проф. др Дејан Убавин

Проф. др Миодраг Ђукић

Проф. др Мирјана Дамњановић

Проф. др Јелена Атанацковић Јеличић

Проф. др Властимир Радоњанин

Проф. др Драган Јовановић

Проф. др Мила Стојаковић

Проф. др Ливија Цветићанин

Проф. др Драгољуб Новаковић

Проф. др Теодор Атанацковић

#### **Редакција:**

Проф. др Александар Купусинац, главни  
уредник

Проф. др Жељен Трповски, технички  
уредник

Проф. др Дарко Стефановић

Проф. др Драгољуб Новаковић

Доц. др Иван Пинђер

Бисерка Милетић

#### **Језичка редакција:**

Бисерка Милетић, лектор

Софија Рацков, коректор

Мр Марина Катић, преводилац

Савет за библиотечку и издавачку делатност ФТН,  
проф. др Милан Мартинов, председник.

Штампа: ФТН – Графички центар ГРИД, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад

CIP-Каталогизација у публикацији  
Библиотека Матице српске, Нови Сад

378.9(497.113)(082)

62

**ЗБОРНИК радова Факултета техничких наука** / главни и одговорни уредник

Раде Дорословачки. – Год. 7, бр. 9 (1974)-1990/1991, бр.21/22 ; Год. 23, бр. 1 (2008)-. – Нови Сад : Факултет  
техничких наука, 1974-1991; 2008-. – илустр. ; 30 цм. –(Едиција: Техничке науке – зборници)

Месечно

ISSN 0350-428X

COBISS.SR-ID 58627591

## ПРЕДГОВОР

Поштовани читаоци,

Пред вама је девета овогодишња свеска часописа „Зборник радова Факултета техничких наука“.

Часопис је покренут давне 1960. године, одмах по оснивању Машинског факултета у Новом Саду, као „Зборник радова Машинског факултета“, а први број је одштампан 1965. године. Након осам публикованих бројева у шест година, пратећи прерастање Машинског факултета у Факултет техничких наука, часопис мења назив у „Зборник радова Факултета техничких наука“ и 1974. године излази као број 9 (VII година). У том периоду у часопису се објављују научни и стручни радови, резултати истраживања професора, сарадника и студената ФТН-а, али и аутора ван ФТН-а, тако да часопис постаје значајно место презентације најновијих научних резултата и достигнућа. Од броја 17 (1986. год.), часопис почиње да излази искључиво на енглеском језику и добија поднаслов «Publications of the School of Engineering». Једна од последица нарастања материјалних проблема и несрећних догађаја на нашим просторима јесте и привремени прекид континуитета објављивања часописа двобројем/двогодишњаком 21/22, 1990/1991. год.

Друштво у коме живимо базирано је на знању. Оно претпоставља реорганизацију наставног процеса и увођење читавог низа нових струка, као и квалитетну организацију научног рада. Значајне промене у структури високог образовања, везане за имплементацију Болоњске декларације, усвајање нове и активне улоге студената у процесу образовања и њихово све шире укључивање у стручне и истраживачке пројекте, као и покретање нових мастер и докторских студија, доносе потребу да ови, веома значајни и вредни резултати, постану доступни академској и широј јавности. Оживљавање „Зборника радова Факултета техничких наука“, као јединственог форума за презентацију научних и стручних достигнућа, пре свега студената, обезбеђује услове за доступност ових резултата.

Због тога је Наставно-научно веће ФТН-а одлучило да, од новембра 2008. год. у облику пилот пројекта, а од фебруара 2009. год. као сталну активност, уведе презентацију најважнијих резултата свих мастер радова студената ФТН-а у облику кратког рада у „Зборнику радова Факултета техничких наука“.

Поред студената мастер студија, часопис је отворен и за студенте докторских студија, као и за прилоге аутора са ФТН или ван ФТН-а.

Зборник излази у два облика – електронском на веб сајту ФТН-а ([www.ftn.uns.ac.rs](http://www.ftn.uns.ac.rs)) и штампаном, који је пред вама. Обе верзије публикују се сваки месец, у оквиру промоције дипломираних мастера.

У овом броју штампани су радови студената мастер студија, сада већ мастера, који су радове бранили у периоду од 01.05.2021. до 15.08.2021. год., а који се промовишу 12.10.2021. год. То су оригинални прилози студената са главним резултатима њихових мастер радова.

Известан број кандидата објавили су радове на некој од домаћих научних конференција или у неком од часописа. Њихови радови нису штампани у Зборнику радова.

Велик број дипломираних инжењера–мастера у овом периоду био је разлог што су радови поводом ове промоције подељени у две свеске.

У овој свесци, са редним бројем 9. објављени су радови из области:

- машинства,
- електротехнике и рачунарства.
- грађевинарства и
- саобраћаја.

У свесци са редним бројем 10. објављени су радови из области:

- архитектуре,
- инжењерског менаџмента,
- инжењерства заштите на раду и заштите животне средине,
- мехатронике,
- математике у техници,
- геодезије и геоматике,
- управљања ризиком од катастрофалних догађаја и пожара,
- инжењерства информационих система,
- сценске архитектуре и дизајна,
- биомедицинског инжењерства и
- анимације у инжењерству.

Уредништво се нада да ће и професори и сарадници ФТН-а и других институција наћи интерес да публикују своје резултате истраживања у облику регуларних радова у овом часопису. Ти радови ће бити објављивани на енглеском језику због пуне међународне видљивости и проходности презентованих резултата.

У плану је да часопис, својим редовним изласком и високим квалитетом, привуче пажњу и постане довољно препознатљив и цитиран да може да стане раме-уз-раме са водећим часописима и заслужи своје место на СЦИ листи, чиме ће значајно допринети да се оствари мото Факултета техничких наука:

**„Високо место у друштву најбољих“**

**Уредништво**



## SADRŽAJ

### STRANA

#### Radovi iz oblasti: Mašinstvo

|                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Marko Azinović,<br>ANALIZA I OSNOVE ZA PROJEKTOVANJE UREĐAJA ZA CEPANJE OGREVNOSTI DRVETA .....                                                             | 1469-1472 |
| 2. Бранислав Остојић,<br>ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ПРОЦЕСНОГ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРИПРЕМУ ЕНЕРГЕТСКИХ<br>ФЛУИДА ЗА ПОГОН ПРЕХРАМБЕНЕ ИНДУСТРИЈЕ .....                          | 1473-1475 |
| 3. Jelena Kovačević,<br>ENERGETSKA EFIKASNOST – POSTOJEĆA SITUACIJA U ZGRADARSTVU, ENERGETSKA<br>SERTIFIKACIJA OBJEKTA .....                                   | 1476-1479 |
| 4. Milomir Kuzović, Marko Vilotić, Jovan Dorić<br>NUMERIČKA SIMULACIJA PROCESA SABIJANJA U USLOVIMA RAVANSKE DEFORMACIJE<br>SA EKSPERIMENTALNOM PROVEROM ..... | 1480-1483 |

#### Radovi iz oblasti: Elektrotehnika i računarstvo

|                                                                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Nenad Zelenović,<br>PRIMENA INDUSTRIJSKOG STANDARDA ISA-95 .....                                                                                                       | 1484-1487 |
| 2. Nemanja Milovanović, Zoran Stojanović,<br>KONFIGURISANJE I TESTIRANJE DIFERENCIJALNE ZAŠTITE TRONAMOTAJNIH<br>ENERGETSKIH TRANSFORMATORA .....                         | 1488-1491 |
| 3. Zoran Davidović, Dragan Milićević,<br>RAZVOJ VEKTORSKI UPRAVLJANOG POGONA ASINHRONOG MOTORA PRIMENOM<br>MATLAB/SIMULINK AUTOKODING PROCEDURA .....                     | 1492-1496 |
| 4. Димитрије Ђукановић, Живко Бојовић, Дејан Немец,<br>ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПАМЕТНОГ СИСТЕМА ЗА НАВОДЊАВАЊЕ ЗАСНОВАНОГ НА<br>СЕНЗОРСКИМ МЕРЕЊИМА И ПРИМЕНИ MQTT ПРОТОКОЛА ..... | 1497-1500 |
| 5. Zorka Jocović,<br>POSLOVNI PROCESI U KOLABORACIJI SA BLOKČEJNOM .....                                                                                                  | 1501-1504 |
| 6. Nikola Gajić,<br>RAZVOJ Kubernetes KLASTERA ZA RAD SA Docker KONTEJNERIMA .....                                                                                        | 1505-1508 |
| 7. Tijana Pavlović,<br>IMPLEMENTACIJA PROGRAMABILNIH LOGIČKIH KONTROLERA SA FUZZY LOGIKOM U<br>UPRAVLJANJU STAMBENIM OBJEKTIMA .....                                      | 1509-1512 |
| 8. Nataša Ljubojev,<br>PRORAČUN HOSTING CAPACITY-A U SREDNJENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI .....                                                                          | 1513-1516 |

|                                                                                                                                                       | <b>STRANA</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 9. Aleksandar Stanić,<br>AUTOMATIZACIJA PROCESA ANALIZE PODATAKA I OBUČAVANJA MODELA ZA<br>PREDIKCIJU STOPE SAMOUBISTAVA .....                        | 1517-1520     |
| 10. Dragana Mihajlović,<br>UPOTREBLJIVOST SIGURNOSNIH MEHANIZAMA VEB APLIKACIJA .....                                                                 | 1521-1524     |
| 11. Marko Hrnjak, Vladimir Katić,<br>GLAVNE KARAKTERISTIKE I KOMPONENTE VETROELEKTRANE U JUGOISTOČNOM<br>BANATU .....                                 | 1525-1528     |
| 12. Marko Katić,<br>SOFTVER ZA KREIRANJE ALBUMA GEOTAGOVANIH FOTOGRAFIJA .....                                                                        | 1529-1532     |
| 13. Anđela Krstić,<br>SISTEM ZA UPRAVLJANJE VIRTUELNIH POSTROJENJEM ZA GENERISANJE ELEKTRIČNE<br>ENERGIJE I SISTEM ZA OTKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE ..... | 1533-1536     |
| 14. Aleksandar Gelić, Dejan Jerkan,<br>ELEKTROMOTORNI POGON ZA TRANSPORT I SKLADIŠTENJE MELASE .....                                                  | 1537-1540     |
| 15. Darja Lazić,<br>REALIZACIJA ELEKTROMOTORNOG POGONA VRELOVODNOG KOTLA SNAGE 35 MW .....                                                            | 1541-1544     |
| 16. Luka Jovanović,<br>RAZMENA ZDRAVSTVENIH KARTONA PACIJENTA PRIMENOM BLOCKCHAIN<br>TEHNOLOGIJE .....                                                | 1545-1548     |
| 17. Milan Marković,<br>PROSTORNE KARAKTERISTIKE ZVUKA I RAZLIKE IZMEĐU BINAURALNE I STEREO<br>REPRODUKCIJE .....                                      | 1549-1552     |
| 18. Stefan Mičić,<br>SISTEM ZA OBRADU INFORMACIJA O KRETANJU OSOBA UNUTAR PROSTORIJA .....                                                            | 1553-1556     |
| 19. Miloš Živković,<br>ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI SEMANTIČKE SEGMENTACIJE SLIKA SA IOT UREĐAJA .....                                                     | 1557-1560     |
| 20. Milica Marković, Dejan Jerkan,<br>UTICAJ KONSTRUKCIJE NA PERFORMANSE SINHRONIH MAŠINA SA STALNIM<br>MAGNETIMA .....                               | 1561-1564     |
| 21. Slobodan Milosavljević, Vladimir Popović,<br>KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE INDUSTRIJSKOG POTROŠAČA NA NAFTNOJ BUŠOTINI ....                        | 1565-1568     |
| 22. Luka Novaković,<br>ISPITIVANJE NELINEARNOG VBR MODELA SINHRONE MAŠINE U REALNOM VREMENU ....                                                      | 1569-1571     |
| 23. Petar Jovančević, Vladimir Katić,<br>IDEJNO REŠENJE SOLARNE ELEKTRANE INDUSTRIJE MESA „NEOPLANTA” .....                                           | 1572-1575     |
| 24. Mile Racić,<br>KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE NA 0,4 kV STRANI ENERGETSKOG TRANSFORMATORA ..                                                        | 1576-1579     |
| 25. Ana Petković,<br>MOGUĆNOSTI PRIMENE BIG DATA KONCEPTA U DRUŠTVENIM MREŽAMA .....                                                                  | 1580-1583     |

## **Radovi iz oblasti: Građevinarstvo**

|                                                                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Spasoje Kojović,<br>RAZVOJ I PRIMENA MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE KOD IZRADE TEMELJA I<br>PODZEMNIH ETAZA OBJEKATA VISOKOGRADNJE ..... | 1584-1587 |
| 2. Ranko Pajić,<br>UPOREDNA ANALIZA ZGRADA SA SEIZMIČKIM ZIDOVIMA U JEDNOM I U DVA PRAVCA ....                                               | 1588-1591 |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3. Savo Starović,                                                          |           |
| PROCENA STANJA I SANACIJA NOSEĆE AB KONSTRUKCIJE ZGRADE RADNIČKOG          |           |
| UNIVERZITETA U NOVOM SADU OD II DO VII SPRATA .....                        | 1592-1595 |
| 4. Milovan Tomanović,                                                      |           |
| PROJEKAT ARMIRANOBETONSKE VIŠESPRATNE ZGRADE U NOVOM SADU PREMA            |           |
| EVROPSKIM STANDARDIMA .....                                                | 1596-1599 |
| 5. Marko Mihajlović,                                                       |           |
| ANALIZA VODOSNABDEVANJA NASELJA BAČKA PALANKA .....                        | 1600-1603 |
| 6. Srđan Ninković,                                                         |           |
| IZBOR OPTIMALNOG DINAMIČKOG PLANA ZA IZGRADNJU HOTELSKOG KOMPLEKSA .....   | 1604-1607 |
| 7. Jelena Anđelić,                                                         |           |
| PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA VIŠESPRATNE STAMBENE ZGRADE KOJA JE   |           |
| IZGRAĐENA PRIMENOM IMS TEHNOLOGIJE .....                                   | 1608-1611 |
| 8. Aleksandar Stojanović,                                                  |           |
| PROCENA STANJA AB KONSTRUKCIJE I ENERGETSKA SANACIJA ZGRADE BIVŠE MODNE    |           |
| KUĆE "22 DECEMBAR" U ĆUPRIJI .....                                         | 1612-1615 |
| 9. Далиа Штрбац,                                                           |           |
| УПОРЕДНА АНАЛИЗА КРУЖНИХ И ТУРБО КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРИМЕНОМ               |           |
| ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ .....                                            | 1616-1619 |
| 10. Ljubica Šobot,                                                         |           |
| NELINEARNA STATIČKA ANALIZA VIŠESPRATNE ZIDANE ZGRADE PROJEKTOVANE PREMA   |           |
| EVROKODU .....                                                             | 1620-1623 |
| 11. Stefan Kozić,                                                          |           |
| PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA ZGRADE OSNOVNE ŠKOLE U KUPINOVU ..... | 1624-1627 |
| 12. Bogdan Okanović,                                                       |           |
| PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA VIŠESPRATNE STAMBENE ZGRADE U ULICI   |           |
| VASE PELAGIĆA U NOVOM SADU .....                                           | 1628-1631 |

### Radovi iz oblasti: Saobraćaj

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Vesna Mihajlović, Pavle Pitka,                                    |           |
| ANALIZA KARAKTERISTIKA BRZOG AUTOBUSKOG PREVOZA .....                | 1632-1635 |
| 2. Ружица Петровић,                                                  |           |
| КРИПТОГРАФИЈА И УСЛУГЕ ОД ПОВЕРЕЊА У ПОШТИ .....                     | 1636-1639 |
| 3. Jovana Pupovac,                                                   |           |
| PRIMENA TEHNOLOGIJE INTERNET OF THINGS U POŠTANSKOM SAOBRAĆAJU ..... | 1640-1643 |
| 4. Nataša Maksimović, Dragana Šarac,                                 |           |
| ANALIZA I UNAPREĐENJE PROCESA URUČENJA POŠILJAKA .....               | 1644-1647 |
| 5. Milan Gvoka, Pavle Gladović,                                      |           |
| ANALIZA I MERE ZA UNAPREĐENJE ORGANIZACIJE I UPRAVLJANJA             |           |
| AUTOTRANSPORTNOG PREDUZEĆA „MS TRANSPORT“ DOO .....                  | 1648-1651 |
| 6. Ивана Крсмановић,                                                 |           |
| БЕЗБЕДНОСТ ПРОФЕСИОНАЛНИХ ВОЗАЧА У САОБРАЋАЈУ .....                  | 1652-1655 |



**ANALIZA I OSNOVE ZA PROJEKTOVANJE UREĐAJA ZA CEPANJE OGREVNOG DRVETA****ANALYSIS AND BASICS FOR CHOPPING FIREWOOD MACHINE DESIGN**Marko Azinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

**Kratak sadržaj** – Razvijanjem svih grana tehnike u cilju da se čoveku olakša svakodnevni život, došlo je do potrebe za uređajem za cepanje ogrevnog drveta. U ovom radu je projektovana jedna izvedba hidraulično pogonjenog uređaja za cepanje ogrevnog drveta. Izvršen je proračun i usvajanje komponenti hidrosistema, završni proračun kritičnih mesta na konstrukciji uređaja i formirana tehnička dokumentacija za izradu konstrukcije.

**Ključne reči:** Cepanje ogrevnog drveta, Cepač, Hidrostatički prenosni sistem, Noseća konstrukcija

**Abstract** – Due to technology development in facilitating the everyday life, a need has arisen to introduce a firewood chopping machine. This paper presents the construction of a hydraulically driven device for firewood chopping. The calculations and the hydrosystem components approvals, as well as the final projection of the critical construction spots and technical documentation have been completed.

**Keywords:** Firewood chopping, Chopper, Hydrostatic transmission system, Supporting construction

**1. UVOD**

Prva pojava sekire u Mesopotamiji oko 6000. godine p.n.e. smatra se za početak potreba čoveka za cepanjem drveta. Svako domaćinstvo ima potrebu za većom ili manjom količinom iscepanog ogrevnog drveta. Količina iscepanog ogrevnog drveta zavisi od vrste grejanja u domaćinstvu.

Sam posao cepanja drveta zahteva određenu ljudsku snagu, vreme, kao i fizičku sposobnost za ovakav vid posla. Stvari u ljudskom društvu su vremenom podložne promenama. U najvećem broju slučajeva te promene su tu kako bi olakšale život ljudima. Takav primer promene desio se i u alatu za cepanje ogrevnog drveta. Ručno cepanje drveta sekirom pored zahtevanja fizičke spretnosti može biti i opasno, moguće je da sama sekira spadne sa drške kao i da dođe do razletanja sitnih komada drveta.

Shodno tim otežavajućim okolnostima, ljudi su našli način da taj posao sebi olakšaju koliko god je to moguće, a to su postigli projektovanjem i konstruisanjem hidrauličnih mašina za cepanje ogrevnog drveta.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Radomir Đokić, docent.

**2. PREGLED REŠENJA**

Ideja ovakvog uređaja jeste da se primeni mehanizam koji će delimično ili u potpunosti da zameni upotrebu čovekove snage.

Na tržištu se mogu pronaći različite izvedbe uređaja za cepanje ogrevnog drveta. Različite izvedbe se mogu podeliti prema [1]:

- položaju (vertikalni, horizontalni i kombinovani),
- reznom klinu (jednim sečivom, krst, višekraka zvezda itd.),
- pogonu (ručni, nožni, elektromotor, motor SUS i pomoću građevinskih mašina),
- prenosniku snage (često hidraulični, ređe mehanički),
- mobilnosti (fiksna, mobilna).

Izvedbe se dobijaju kombinovanjem različitih navedenih parametara.

**2.1. Usvajanje sopstvenog rešenja**

Rešenje koje će se dalje obrađivati je prema položaju rada horizontalan položaj mašine. Horizontalni položaj je izabran iz razloga kompaktnosti konstrukcije u odnosu na uređaj sa kombinovanim položajem i veće sigurnosti u odnosu na uređaj vertikalnog položaja cepanja ogrevnog drveta.

Primarni rezni klin je izabran u obliku krsta sa dve sečne ivice. Veća produktivnost za 100% u odnosu na rezni klin sa jednom sečnom ivicom, i jednostavnijom konstrukcijom prihvata reznog klina u odnosu na klin oblika višekrake zvezde.

Iz razloga što je izabran za prenos snage hidrostatički sistem za čije napajanje je potrebna energija, izbor pogona je sveden na dva tipa, elektromotorni i motorom SUS. Izabran je motor SUS, koji za istu snagu ostvaruje identično vreme ciklusa i silu na hidrocilindru, pored čega ima mobilnost.

**3. ANALIZA OPTEREĆENJA****3.1. Eksperimentalna ispitivanja alata**

Eksperimentom je izvršeno ispitivanje alata za cepanje drveta kako bi se došlo do okvirnih vrednosti sila potrebnih za cepanje nekoliko tipova drveta. Pre eksperimenta je obavljeno modeliranje alata koji je prikazan na slici 1, odnosno urađen je model identičan alatu kakav bi se našao na samom uređaju. Iz zahteva da prečnik trupca koji se cepa na uređaju ne prelazi 300 mm, alat je napravljen manje visine. Dimenzija vertikalne oštrice iznosi 200 mm, dok ukupna širina alata iznosi 304 mm.

Alat za cepanje drveta na sebi mora imati pripremu za kačenje na kidalicu u vidu rupe sa navojem koja se na slici 1 nalazi sa gornje strane.



Slika 1. Ploča sa otvorom za prihvat alata u kidalici

### 3.2. Rezultati eksperimenta

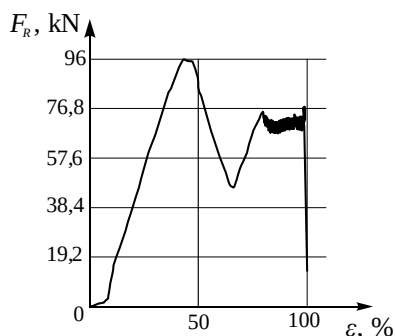
Ispitivanje je obavljeno radi premalo sigurnih informacija (sile  $F$ ) potrebnih samom projektovanju hidraulične mašine za cepanje ogrevnog drveta. Vrednosti koje su se mogle naći u dostupnoj literaturi ukazivale su na vrednosti u širokim granicama, koje nisu bile pouzdane za projektovanje hidrosistema mašine.

Kako se može videti na slici 2 eksperiment je izvršen sa četiri različita drvena panja. Alat koji je korišćen za eksperiment je identične konstrukcije kao što treba da bude na samom uređaju. Mašina na kojoj je vršeno ispitivanje jeste kidalica koja se nalazi u sastavu laboratorija proizvodnog mašinstva na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.



Slika 2. Panjevi na kojima je vršeno ispitivanje

Rezultati eksperimenta prikazani su u obliku dijagrama, gde je kao primer u ovom radu dat dijagram merenja (slika 3) za slučaj panja pod brojem 3 (slika 2), koji je zahtevao najveća opterećenja, tj. silu za cepanje. Sa prikazanog dijagrama može se lako pročitati da maksimalna sila koja je izmerena, nije prelazila 96 kN. Tako da je sila zaokružena i usvojena u iznosu od 100 kN za dalji tok proračuna.

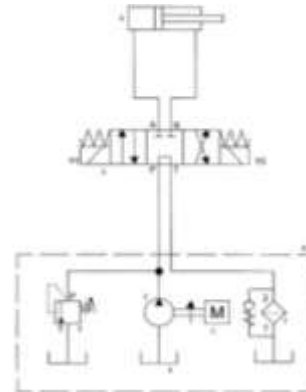


Slika 3. Dijagramski zapis rezultata pri merenju sa trećim panjem

## 4. PRENOSNI SISTEM KOD UREĐAJA ZA CEPANJE DRVETA

Potrebno je usvojiti varijantu hidrostatičkog prenosnog sistema za koji se formira funkcionalna hidraulična šema. Potrebno je izvršiti neophodne proračune za usvajanje elemenata hidrosistema.

### 4.1. Formiranje funkcionalne šeme hidrosistema



Slika 4. Prikaz funkcionalne šeme hidrosistema

Na formiranoj šemi mogu se videti komponente hidrosistema. Objedinjene komponente (8) uokvirene pravougaonikom (isprekidana linija) predstavljaju hidroagregat, koji objedinjuje više elemenata hidrosistema u jedan.

Ostale komponente hidrosistema:

- (1) Motor SUS.
- (2) Pumpa sa jednosmernim protokom, konstantne specifične zapremine.
- (3) Direktno upravljani ventil za ograničenje pritiska.
- (4) Rezervoar.
- (5) Razvodnik 4/3, upravljani elektromagnetima. U neutralni položaj dovodi se silom opruga.
- (6) Hidrocilindar dvosmernog dejstva sa jednom klipnjačom.
- (7) Filter sa nepovratnim ventilom.

### 4.5. Proračun elemenata hidrosistema

U postavci zadatka dobijene su dimenzije trupca za koji je potrebno ostvariti cepanje. Daljim istraživanjem, kako je već rečeno u prethodnim tačkama, nisu bili dostupni dovoljno tačni podaci sile cepanja ogrevnog drveta, zbog čega je izvršen eksperiment. Eksperimentalno usvojena sila cepanja iznosi  $F_R = 100$  kN. Pored ovih, potrebni su i sledeći podaci:

- Maksimalno vreme radnog hoda:  $t_{\max} = 10$  s,
- Hod klipa:  $h = 500$  mm.

#### 4.5.1. Proračun parametara hidrocilindra

U prvom koraku izvršeno je usvajanje hidrocilindra odgovarajućih radnih parametara, čije je vrednosti neophodno proveriti (proračunati) sa stanovišta zadovoljavanja karakteristika navedenih kroz podatke u prethodnoj tački. Usvojen je hidrocilindar *Prva petoletka V1 A 100/63/500*, sledećih dimenzija:

- Prečnik klipa:  $D = 100$  mm,
- Prečnik klipnjače:  $d_{kl} = 63$  mm,
- Hod klipnjače:  $h = 500$  mm,
- Maksimalni radni pritisak:  $p_{\max} = 160$  bar.

Na osnovu ulaznih podataka moguće je izračunati protok fluida koji iznosi [2]:

$$Q_c = A_{kl} \cdot v_1 = 0,007854 \cdot 0,05 = 23,561 \frac{l}{min} \quad (1)$$

$$A_{kl} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,1^2 \cdot \pi}{4} = 0,007854 m^2 \quad (2)$$

gde je:

$A_{kl}$  - površina poprečnog preseka klipa koja predstavlja površinu kojom klip hidrocilindra potiskuje ulje prilikom radnog hoda,

$v_1$  - brzina kretanja klipa u radnom hodu.

Potreban pritisak hidrocilindra u radnom hodu:

$$p_c = \frac{F_R}{A_{kl} \cdot \eta_c} = \frac{100000}{0,007854 \cdot 0,95} = 131,5 \text{ bar} \quad (3)$$

где је:

$\eta_c = 0,91 \div 0,99$  - stepen korisnosti cilindra.

#### 4.5.2. Proračun parametara hidropumpe

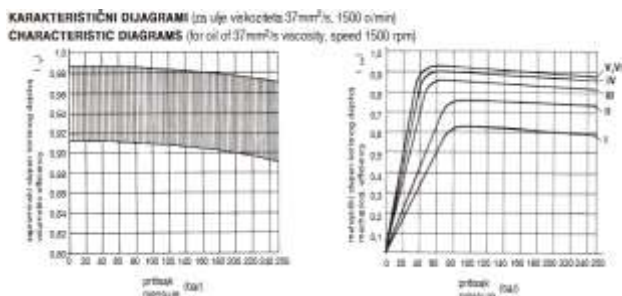
Za radne pritiske do 200 bar su u primeni zupčaste, a za radne pritiske do 400 bar su pak u primeni klipno-aksijalne pumpe. Kako je u prethodnoj tački izračunato da radni pritisak ne prelazi 200 bar, potrebno je usvojiti zupčastu pumpu.

Za usvajanje zupčaste pumpe potrebno je proračunati radnu zapreminu pumpe ( $q_p$ ), radni pritisak ( $p_r$ ) i broj obrtaja ( $n_m$ ) na vratilu pumpe, gde se primenjuje motor SUS sa brojem obrtaja  $n_m = 2000$  °/min.

$$q_p = \frac{Q \cdot 1000}{n_m \cdot \eta_{vp}} = \frac{23,561 \cdot 1000}{2000 \cdot 0,94} = 12,53 \text{ cm}^3/o \quad (4)$$

gde je:

$\eta_{vp}$  - volumetrijski stepen korisnosti pumpe,



Slika 5. Dijagram za usvajanje zapreminskog i hidromehaničkog stepena korisnosti

Radni pritisak zupčaste pumpe [3]:

$$p_r = p_c + \Delta p_1 + \Delta p_f = 131,478 + 1,3 + 1,66 \approx 135 \text{ bar}$$

Usvaja se zupčasta pumpa:

- Prva petoletka ZPB.476.28M
- Broj obrtaja:  $n_m = 2000$  °/min
- Broj obrtaja:  $p_n = 160$  bar
- Maksimalni pritisak:  $p_{max} = 200$  bar
- Radna zapreminina pumpe:  $q = 16 \text{ cm}^3/o$

Zbog usvojenih novih podataka pumpe došlo je do promene efektivnog protoka hidrosistema:

$$Q_{ef} = \frac{q_p \cdot n_m \cdot \eta_{vp}}{1000} = \frac{16 \cdot 2000 \cdot 0,94}{1000} = 30,08 \frac{l}{min} \quad (5)$$

Usvojen je radni agregat "HONDA GX690" sa sledećim karakteristikama:

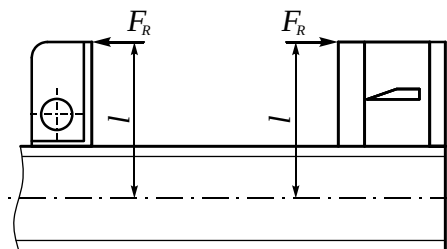
- Radna zapremina: 688 cm<sup>3</sup>,
- Maksimalna snaga motora: 15 kW pri 3600 °/min,
- Maksimalni obrtni moment: 48,3 Nm pri 2500 °/min,
- Sopstvena masa: 44 kg,
- Sistem startovanja: Električno.

## 5. PORVERA ČVRSTOĆE

Cela metalna konstrukcija ovog uređaja se sastoji od glavnog nosača (IPB 200 profila) i postolja od cevi različitih profila. Glavni nosač u ovoj konstrukciji trpi dejstvo sile, kao i težinu hidrocilindra, potisnu ploču i rezni alat. U ovoj konstrukciji težina nabrojanih komponenti je zanemariva u odnosu na samu silu koja se ostvaruje, zbog toga će se provera čvrstoće računati samo na bazi sile koju ostvaruje hidrocilindar.

U toku radnog hoda hidrocilindra potisna ploča ostvaruje pritisak na drvo. Prilikom nailaska drvenog panja na rezni klin dolazi do ostvarivanja pritiska na potisnu ploču, pa samim tim i na nosač hidrocilindra i glavni nosač sa jedne strane, a sa druge strane preko reznog klina takođe na glavni nosač.

Za vreme radnog hoda postoje dva slučaja cepanja. Prvi slučaj je idealan kada drveni panj, svojim baznim površinama naleže pod pravim uglom na potisnu ploču i rezni alat. U ovom slučaju sila cepanja će biti u osi sa klipnjačom hidrocilindra. Najnepogodniji slučaj je kada dolazi do zakrivljenja panja tako da u tački dodiruje potisnu ploču i rezni klin, najudaljenije od glavnog nosača, slika 6, pri čemu dolazi do povećanja momenta savijanja. Sa ovim slučajem će se vršiti provera čvrstoće.



Slika 6. Najnepovoljniji proračunski slučaj pri cepanju drveta

### 5.1. Kritični naponi

Analizom konstrukcije uređaja jasno se mogu videti preseki koji su kritični i koji se moraju ispitati da li mogu da izdrže opterećenje usled cepanja drveta.

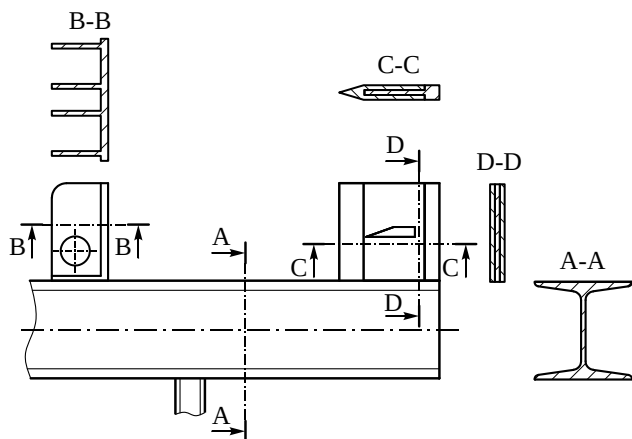
Presek A-A: Presek glavnog nosača između nosača hidrocilindra i reznog alata. Svi preseki između ove dve ravni imaju identično opterećenje.

Presek B-B: Presek potisne ploče neposredno iznad klipnjače, sa najvećim krakom u odnosu na tačku sile cepanja.

Presek C-C: Presek nosača alata neposredno iznad glavnog nosača.



Presek D-D: Presek alata u vertikalnoj ravni upravno na osu glavnog nosača.



Slika 7. Kritični preseki

Završni proračun na kritičnim presecima je izvršen upoređivanjem izračunatih vrednosti napona za pomenute preseke sa dozvoljenim naponom.

Dozvoljeni napon za čelik S355, kojim je predviđena izrada konstrukcije je [4,5]:

$$\sigma_{doz} = \frac{R_{eH}}{\nu} = \frac{355}{1,5} = 236,67 \text{ MPa} \quad (6)$$

gde je:

$R_{eH}$  - granica razvlačenja za usvojeni materijal,

$\nu = 1,25 \div 1,5$  - stepen sigurnosti.

**Presek A-A:** Standardni profil IPB 200 opterećen momentom savijanja i aksijalnom silom.

Otporni moment preseka IPB 200 iznosi:

$$W_{sA} = 553 \text{ cm}^3$$

Moment savijanja profila usled sile  $F_R$  i rastojanja  $l$  sa slike 6:

$$M_{sA} = F_R \cdot l = 100 \cdot 30 = 3000 \text{ kNcm}$$

Napon usled savijanja:

$$\sigma_{sA} = \frac{M_{sA}}{W_{sA}} = \frac{3000}{553} = 5,42 \text{ kN/cm}^2 = 54,2 \text{ MPa}$$

Napon usled aksijalne sile:

$$\sigma_{aA} = \frac{F_R}{A_A} = \frac{100}{76,3} = 13,1 \text{ kN/cm}^2 = 131 \text{ MPa}$$

gde je:

$A_A$  - površina poprečnog preseka A-A profila IPB 200

Ukupni napon iznosi:

$$\sigma_{ukA} = \sigma_{sA} + \sigma_{aA} = 54,2 + 131 = 185,2 \text{ MPa} < \sigma_{doz}$$

**Presek B-B:** Opterećen samo momentom savijanja.

Napon pri savijanju potisne ploče:

$$\sigma_{sB} = \frac{M_{sB}}{W_{xB}} = \frac{1140}{126} = 90,5 \text{ kN/mm}^2 = 90,5 \text{ MPa} < \sigma_{doz}$$

gde je:

$M_{sB}$  - moment savijanja potisne ploče opterećen silom  $F_R$  koja deluje sa krakom 11,4 cm na oslonac potiskivača:

$$M_{sB} = F_R \cdot 11,4 = 100 \cdot 11,4 = 1140 \text{ kNcm}$$

$W_{xB}$  - otporni moment za presek B-B.

$$W_{xB} = \frac{I_{xB}}{y_{Bmax}} = \frac{980,29}{7,78} = 126 \text{ cm}^3$$

$y_{Bmax}$  - najveća udaljenost unutar površine preseka od težišne tačke za ceo presek.

**Presek C-C:** Nosač je opterećen na savijanje.

Normalni napon od momenta savijanja iznosi:

$$\sigma_{sC} = \frac{M_{sC}}{W_{xC}} = \frac{2000}{49,99} = 40,008 \text{ kN/cm}^2 = 400,08 \text{ MPa} > \sigma_{doz}$$

$M_{sC}$  - moment savijanja reznog alata opterećen silom  $F_R$  koja deluje sa krakom 20 cm na oslonac reznog alata:

$$M_{sC} = F_R \cdot l_C = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ kNcm}$$

$W_{xC}$  - otporni moment za presek C-C.

$$W_{xC} = \frac{I_{xC}}{y_{Cmax}} = \frac{470,39}{9,41} = 50 \text{ cm}^3$$

**Presek D-D:** Opterećenje u ovom preseku je od aksijalne sile na pritisak.

Normalni napon pri pritisku iznosi:

$$\sigma_{pD} = \frac{F_R}{A_D} = \frac{100}{60} = 1,67 \text{ kN/cm}^2 = 16,7 \text{ MPa} < \sigma_{doz}$$

## 6. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj rada bio je da se izvrše analize i postave osnove za projektovanje uređaja za cepanje ogrevnog drveta. U radu je izvršena analiza opterećenja koja se javljaju na reznom alatu prilikom cepanja i sprovedeni su svi neophodni proračuni za usvajanje komponenti hidrostatičkog prenosnog sistema. Eksperimentalno je utvrđena sila cepanja drveta. Sprovedeni su završni proračuni u kritičnim tačkama konstrukcije uređaja gde je zaključeno da su u preseku C-C naprezanja iznad dozvoljenih vrednosti. Konstrukciju u preseku C-C je potrebno izmeniti.

## 7. LITERATURA

- [1] A. Jovičić, "Poboljšano rešenje hidrauličnog uređaja za cepanje ogrevnog drveta", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2014.
- [2] P. Malešev, "Hidroprenosnici u mehanizaciji", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2010.
- [3] N.V. Kelić, "Hidroprenosnici", Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 1989.
- [4] R. Maretić, "Zbirka rešenih zadataka iz otpornosti materijala", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2009.
- [5] M. Ognjanović, "Mašinski elementi", Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 1999.

### Kratka biografija:



**Marko Azinović** rođen je 1996. godine u Beogradu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva odbranio je 2021. godine.

kontakt: [2306996@gmail.com](mailto:2306996@gmail.com)



**ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ПРОЦЕСНОГ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРИПРЕМУ ЕНЕРГЕТСКИХ ФЛУИДА ЗА ПОГОН ПРЕХРАМБЕНЕ ИНДУСТРИЈЕ****TECHNICAL ISSUE ON PROCESS PLANT FOR PREPARATION OF ENERGY SUPPLY IN FOOD INDUSTRY**Бранислав Остојић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – МАШИНСТВО**

**Кратак садржај**– Радом су обухваћене теоријске основе и изнето техничко решење за надградњу система за припрему топле воде, од начина припреме преко развода система до крајњих корисника и експлоатације, за технолошки систем у прехранбеној индустрији.

**Кључне речи:** *Топла вода, размењивач топлоте, пумпе, цевоводи*

**Abstract** – Thesis covers theoretical basis and technical solution for modification and reconstruction of heated cleaning water system from the heating process to the end users and exploitation, for technology system in Food industry.

**Keywords:** *Hot water, plate heat exchanger, pump, pipelines*

**1. УВОД**

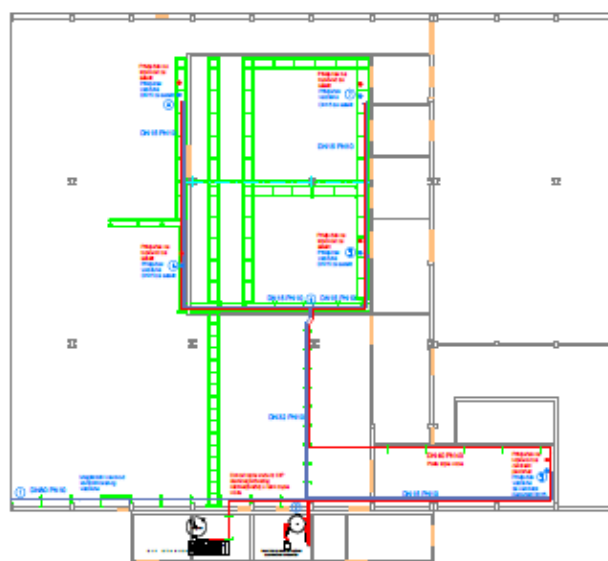
Безбедност прехранбеног производа, а самим тим и безбедност потрошача, је постављена на висок ниво са захтевима који не дозвољавају компромисе. Овај оправдани приступ изискује велики и посвећени рад на дефинисању технолошких потреба, пројектовању и извођењу техничко-технолошког решења које може да одговори на такве захтеве. Овим радом су обухваћене теоријске основе и изнето техничко решење за надградњу система за припрему топле воде, од начина припреме преко развода система до крајњих корисника и експлоатације, за технолошко и хигијенски сложен и захтеван систем у прехранбеној индустрији.

**2. ЗАДАТАК РАДА**

Задатак дипломског-мастер рада, из којег овај рад проистиче, јесте да је потребно урадити техничко решење процесног постројења за припрему енергетских флуида за погон прехранбене индустрије.

Техничко решење треба да обухвата решење за наградњу система за припрему топле воде, од начина припреме до крајњих корисника, према основи објекта, слика 1. Такође, потребно је да обухвата прорачун плочастог размењивача топлоте, прорачун

топловода, прорачун система за снабдевање компримованог ваздуха, прорачун цевног развода, димензионисање пумпи и пратећих подсистема.



Слика 1. Основа предметног објекта и опреме

**3. ОСНОВА СОР ТЕХНОЛОГИЈЕ**

Индустрија за производњу хране је грана привреде где се морају узети у обзир највиши стандарди по питању квалитета и безбедности производа што утиче на високе критеријуме у погледу хигијене и одржавања производног окружења чистим.

Приликом прављења производа- густих и вискозних Нејутновских флуида (често на бази јестивог уља, масти) предузима се мокро чишћење и одмашћивање радних површина и радне околине. Практичан и најбољи начин за прање, испирање и дезинфекцију јесте комбинација воде и хемикалија-одмашћивача, NaOH нпр.

Радни медијум је хладна и топла вода. СОР-технологија представља систем резервоара, пумпи, цевовода и арматура где се радни медијум путем цевовода доводи до најближе тачке у погону где се врши спољашње прање отворених, приступачних, расклопљених делова опреме и машина и радног окружења одакле се уклањају нечистоће.

**НАПОМЕНА:**

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Момчило Спасојевић, ред. проф.

#### 4. ДЕФИНИСАЊЕ ПОТРЕБА ПОГОНА ЗА ТОПЛОМ ВОДОМ

Пројекат исталације топле воде на систем за прање-СОР представља надградњу постојећег система за прање који се састоји од централне јединице – централни пеномат и помоћних јединица- сателита, који су разведени по погону. Овај постојећи систем је такође повезан и на постројење за прање цевовода и опреме-СІР. Помоћне јединице су повезане са централном преко цевног развода. На централни пеномат је потребно довести до 120 l/min топле воде температуре до 70 °C и минимално 2 bar надпритиска. Такође је потребно обезбедити нове прикључке свих јединица на развод компримованог ваздуха, притиска 6-10 bar, минимални проток 200 l/min (централна и периферне јединице).

За акумулацију топле воде предвиђен је резервоар радне запремине 2 m<sup>3</sup>. Пречник резервоара 1.300 mm, цилиндрична висина 2.000 mm, укупне висине 3.100 mm. Радни притисак налив. Температура воде је 70 °C Након проласка топле воде кроз плочасти размењивач у затвореном кругу(достизања жељене температуре) иста се из постојећег резервоара топле воде, транспортује у нови акумулациони резервоар топле воде. У случају да постројење СІР није у могућности да испоручи топлу воду, загревање воде се обавља у новом акумулационом резервоару. За припрему сса 2 m<sup>3</sup> топле воде у времену од 4 часа инсталисана снага електричних грејача је 50 kW.

За рецикулацију топле воде током вршног загревања предвиђена је циркулациона пумпа. Након акумулације у новом танку, или догревања, топла воде се шаље према потрошачима уз помоћ засебне циркулационе пумпе. Потрошачи топле воде су централни пеномат и сателити. Од централног пеномата изводи се цевовод са прикључним местима за крајње потрошаче, периферне јединице-сателите.

#### 5. ПЛОЧАСТИ РАЗМЕЊИВАЧ ТОПЛОТЕ

На основу техничких параметара постојећег плочастог размењивача топлоте урађен је прорачун са новим параметрима рада. Пројектовани размењивач намењен је за грејање воде температурског режима 95/15°C, док је грејни медијум водена пара 8 bar, 170°C. Снага размењивача је 0,6 MW, а укупна површина за размену топлоте 12 m<sup>2</sup>. Конфигурација токова је (1-1) са супротносмерним током флуида. Максимални радни притисак у апарату је 10 bar. Основни елемент за размену топлоте је јединична плоча, израђена од нерђајућег легираног челика Х5CrNi18-10, димензија 520x210x0,5 mm. Плоча је профилисана са „V“ профилем, при чему је угао профила β=45 °. Укупан број плоча је 120, а између сваке се налази заптивач од Теснита.

Постојећи апарат за размену топлоте је плочасти размењивач Alfa Laval M6, слика 2. Максимални радни притисак- 8 bar, Пројектовани проток радног

медијума- 7 m<sup>3</sup>/h (хладна страна), Максимална радна температура- 95 °C. Струјање флуида са обе стране плоча је пројектовано за систем (1-1), тзв. Супротнострујна U- конфигурација. Као основна метода за термички прорачун апарата је узета Логаритамска метода односно, Метода средње логаритамске разлике температура [1,2]. Термо-хидрауличким прорачуном са новим параметрима рада размењивача топлоте је потврђена стварна добијена размењена количина топлоте преко плоча  $q_t=605,1$  kW. Вредност стварне размењене количине топлоте  $q_t$  је виша од теоријске количине топлоте ( $Q_t$ , 574 kW), па прорачунати систем остварује потребну размену топлоте. Хидрауличним прорачуном су добијене вредности укупних падова притиска у плочастом размењивачу,  $\Delta p_{tol}$  (1236 Pa)-топла страна и  $\Delta p_{tol}$  (4155 Pa)-хладна страна које су у границама дозвољених вредности,  $\Delta p$  (5000 Pa).



Слика 2. Плочасти размењивач топлоте Alfa Laval M6 [2]

#### 6. ПРОРАЧУН ТОПЛОВОДА, РАЗВОД СИСТЕМА, ПРОРАЧУН ИЗОЛАЦИЈЕ, ИЗБОР ПУМПИ

Развод топле воде до потрошача у погону се састоји од потисног цевовода иза плочастог размењивача топлоте. Топла вода температуре 70 °C се путем цевовода пребацује у танк-резервоар топле воде и даље са подизањем притиска преко центрифугалне пумпе шаље у разводни систем потрошача. За обезбеђивање протока и савлађивање напора топле воде, деоница између плочастог размењивача и танка топле воде, користи се центрифугална пумпа постојећег система-СІР ( $Q=20$  m<sup>3</sup>/h) која обезбеђује радне параметре флуида приликом самог загревања воде. Даље се топла вода, концентрисана у добро изолованом танку топле воде, преко засебне пумпе дистрибуира у систем, односно шаље на централну јединицу за прање.

#### 7. ПРОРАЧУН ИНСТАЛАЦИЈА КОМПРИМОВАНОГ ВАЗДУХА

За потребе новог распоред јединица система прања-СОР на више тачака у погону, урађен је прорачун развода цевовода за снабдевање компримованим ваздухом притиска 6-10 bar, минимални проток 200

l/min на централну и периферне јединице прања. За стабилан рад система за спољашње прање-COP потребно је обезбедити 20 m<sup>3</sup>/h по јединици прања, што значи да је укупни пројектовани потребни капацитет компримованог ваздуха за цео систем  $Q_{uk}=100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Потребне протоке компримованог ваздуха распоређујемо по мрежи и преко Бернулијеve једначине израчунавамо падове притиска у појединим деоницама.

## 8. ПРОРАЧУН РЕЗЕРВОАРА ТОПЛЕ ВОДЕ

За систем прања топлотом водом потребно је обезбедити акумулациони резервоар-суд укупне запремине 2,5 m<sup>3</sup>, радне температуре до 70 °C, на атмосферском притиску, суд је под наливом [3,4]. За рецикулацију воде која се загрева у унутрашњем прстену, слика 3, предвиђена је циркулациона пумпа специјалне конструкције од нерђајућег материјала код које је радно коло потпуно одвојено од мотора и лежачева да би се спречила оштећења од присуства каменца из неомекшане воде у случају да таква вода заврши у суду.



Слика 3, Акумулациони резервоар са помоћним извором топлоте [4]

У случају хаваријског или вршног рада када резервоар не добија топлу воду преко размењивача топлоте остављена је могућност да суд пуни сировом санитарном водом из мреже. У унутрашњем прстену загревања предвиђен је електрични грејач за вршну потрошњу. Као техничко решење за вршно загревање топле воде усвојен је Електрични котлоу снаге 50 kW. Код система за припрему топле воде постоји ризик од појаве бактерије Легионеле. Ова бактерија изазива легионарску болест (обољење плућа), која у даљим фазама може бити смртоносна. Могућност преношења ове бактерије се јавља приликом распршивања воде у којој се бактерија налази и удисањем аеросола- у овом случају у перионици или на местима прања. Легионела се размножава у областима топле воде при дужем задржавању и то најчешће при температури 32 и 42 °C, а уништава се на 60 до 65 °C. То доводи до закључка да је услов за обезбеђивање хигијенског система развода топле воде најнижа дозвољена

температура 65 °C, а коју обезбеђујемо у овом пројекту.

## 8.ЗАКЉУЧАК

Овим радом су обухваћене теоријске основе које су потребне за разумевање инжењерског приступа приликом решавања пројектног задатка за обезбеђивање топлотне енергије за један од техничко-технолошких поступака у прехранбеној индустрији.

У технолошким процесима везаним за прехранбену индустрију снабдевање топлотом водом представља неизоставан систем за обезбеђивање нормалног рада у производњи, како по питању самог производног процеса, тако и за обезбеђивање чистог и хигијенског радног окружења. Због постојања континуалног снабдевања погона сувом паром и постојећег постројења за загревање воде за друге процесе, могуће је извршити надградњу постојећег система. Закључује се да је плочасти размењивач топлоте прави избор у улози топлотног извора за нови процес. Прорачуном је доказано да постојећи апарат задовољава нове пројектне услове за рад система за припрему топле воде.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јаћимовић, Б.; Генић, С.; Топлотне операције и апарати, Машински факултет, Београд, 1992
- [2] Kakaç, Sadik; Liu, Hongtan (2013), Heat exchangers; Selection rating and thermal design 2nd edition; ISBN: 0-8493-0902-6; CRC PRESS, Washington DC, USA.
- [3] Богнер, М.; Ћирић С.; Технички гасови, ИРО Грађевинска књига, Београд, 1984.
- [4] Рекнагел, Х.; Шпренгер, Е.; Шрамек, Е.; Грејање и климатизација са припремом топле воде и расхладном техником, V издање, Интерклима, Врњачка Бања, 2002.

## Кратка биографија:



**Бранислав Остојић** рођен је у Новом Саду 1993. год. Дипломски-мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинства – Термоенергетика одбранио је 2021.год.

**ENERGETSKA EFIKASNOST – POSTOJEĆA SITUACIJA U ZGRADARSTVU,  
ENERGETSKA SERTIFIKACIJA OBJEKTA****ENERGY EFFICIENCY - CURRENT SITUATION OF BUILDING, ENERGY  
CERTIFICATION OF BUILDINGS**

Jelena Kovačević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast- MAŠINSTVO**

**Kratak sadržaj** – Ovaj rad daje sažet prikaz postojeće situacije u zgradarstvu Srbije Zakon o energetskej serifikaciji objekta kao i način dobijanja energetskog pasoša. Odrađena je analiza objekata pri različitim lokacijama, energentu, načinu grejanja i regulacije i za svaki objekat dat primer optimizacije sa ciljem poboljšanja energetskog razreda zgrade.

**Ključne reči:** Energetska efikasnost, energetski pasoš, godišnja potrošnja energije, sertifikacija objekata

**Abstract** – This paper gives a brief overview of the current situation in buildings of Serbia, the Law on Energy Certification of Buildings as well as the method of obtaining an energy passport. An analysis of buildings at different locations, energy, heating and regulation was performed and for each building and example of optimization was given with the aim of improving the energy class of the building.

**Keywords:** Energy efficiency, energy passport, annual energy consumption, building certification

**1. UVOD**

Kada govorimo o energetski efikasnim zgradama, onda mislimo na zgrade koje troše manje energije za zadovoljenje životnih potreba, a misli se na održavanje ugodne temperature, neophodno osvetljenje i druge potrebe za boravak i rad ljudi u zatvorenom prostoru. Obično štednja podrazumeva da se odričemo određenih dobara ili komfora, dok mere energetske efikasnosti ne smeju da umanjuju uslove za rad i život ljudi, odnosno da naruše osećaj ugodnosti. Dobro termički izolovana zgrada manje troši energiju za grejanje zimi i za hlađenje leti, a boravak u njoj je ugodniji i kvalitetniji, drugim rečima, energetski efikasna zgrada čuva energiju, a njen životni vek je duži. Takođe, unapređenjem energetske efikasnosti u zgradama doprinosimo zaštiti životne sredine i smanjenju emisije štetnih gasova koja nastaju sagorevanjem energenata koje iskoristimo za zagrevanje prostora.

Posebno je potreba stvorena kada su u pitanju zgrade, jer se poslednje decenije mogu nazvati vremenom hiperizgradnje u celom svetu. Doneta pravila utiču na promenu korišćenja energije kako pojedinca, tako i manjih i većih kompanija, te uopšteno promene u celokupnom čovečanstvu [1].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio Aleksandar Anđelković.

**2. ENERGETSKA EFIKASNOST U ZGRADARSTVU**

Svaka zgrada poseduje omotač koje je najvažniji za energetske efikasnost celokupnog objekta. U tom smislu, objekat je obezbeđen da zimi bude topao, a leti hladan. Omotač zgrade čine temelji, zidovi, krov, izolacija, prozori i vrata. Svaki od ovih činilaca omotača danas su projektovani na takav način da povoljno utiču na energetske efikasnost, što znači da bespotrebno ne propuštaju vazduh ili vlagu.

Izolacija, spoljašnja, koju predstavlja celokupna fasada, danas je napravljena tako da nije vodopropusna, vetropropusna, pa onemogućava spoljašnjim prilikama da utiču na temperaturu unutar objekta.

Energetska efikasnost se postiže i upotrebom solarnih panela, koji sunčevu svetlost pretvaraju u toplotnu, a pored toga energetska efikasnost se u velikoj meri može ostvariti određenim sistemima grejanja, kao što je podno grejanje, koje funkcioniše na principu vazdušnih ili hidro pumpi, koje za svoje pokretanje koriste prirodne resurse, aumanjeno električnu energiju [2].

Najčešće mere koje se preduzimaju u cilju smanjenja gubitaka i povećanja energetske efikasnosti su:

- Izolacija prostora koji greje ili hladi
- Zamena dotrajale ili neefikasne stolarije
- Zamena ili ugradnja efikasnih sistema za grejanje, klimatizaciju i ventilaciju
- Ugradnja mernih i regulacionih uređaja
- Zamena neobnovljivih energenta obnovljivim
- Zamena energetski neefikasnih potrošača efikasnim

**2.1. Pregled zakonodavnih okvira u oblasti energetske efikasnosti**

Proces energetske sertifikacije zgrada u Srbiji započeo je 30. septembra 2012. godine, kada je primena pravilnika iz oblasti energetske efikasnosti zgrada postala obavezna. U Srbiji je EPBD implementirana kroz Zakon o planiranju i izgradnji. Na osnovu člana 201 Zakona o planiranju i izgradnji, doneti su pravilnici kojima se bliže propisuje procedure za unapređenje energetske efikasnosti zgrada:

Pravilnik O Uslovima, Sadržini I Načinu Izdavanja Sertifikata O Energetskim Svojstvima Zgrada „Službeni glasnik RS“ broj 69/2012;

Pravilnik O Energetskoj Efikasnosti Zgrada „Službeni glasnik RS“ broj 61/2011.

Pravilnikom o energetskoj efikasnosti zgrada se bliže propisuju zahtevana energetska svojstva, definisanje metodologije proračuna termičkih svojstava zgrada, kao i propisivanjem zahteva za nove i postojeće objekte.



Energetski pasoš obavezan je za nove zgrade, kao i postojeće nakon rekonstrukcija, veće obnove ili energetske sanacije. Energetski pasoš nije potrebno da se izdaje u slučaju prometa nekretnina (kupoprodaja i iznajmljivanje) [3].

## 2.2. Izgled i sadržaj obrasca energetskih pasoša

|                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                              |                    |                                                                             |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------|
| фотографија зграде<br>(једна могућност)                                                               | <b>ЗГРАДА</b>                                                                                                                                                                                                                |                    | <input type="checkbox"/> нова <input checked="" type="checkbox"/> постојећа |          |
|                                                                                                       | Категорија зграде:<br>Место, адреса:<br>Катастарска парцела:<br>Власник/инвеститор/пирани заступник:<br>Извођач:<br>Година изградње:<br>Година реконструкције/енергетске санације:<br>Нето површина $A_n$ [m <sup>2</sup> ]: |                    | 1. Зграда са једним станом<br>2. Зграда са више станова                     |          |
| <b>Енергетски пасош за стамбене зграде</b>                                                            | Прорачун                                                                                                                                                                                                                     | $Q_{H,nd,rel}$ [%] | $Q_{H,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]                                         |          |
|                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                              | 45                 | 34                                                                          |          |
|                                                                                                       | A+                                                                                                                                                                                                                           | ≤ 15               |                                                                             |          |
|                                                                                                       | A                                                                                                                                                                                                                            | ≤ 25               |                                                                             |          |
|                                                                                                       | B                                                                                                                                                                                                                            | ≤ 50               |                                                                             | <b>B</b> |
|                                                                                                       | C                                                                                                                                                                                                                            | ≤ 100              |                                                                             |          |
|                                                                                                       | D                                                                                                                                                                                                                            | ≤ 150              |                                                                             |          |
|                                                                                                       | E                                                                                                                                                                                                                            | ≤ 200              |                                                                             |          |
|                                                                                                       | F                                                                                                                                                                                                                            | ≤ 250              |                                                                             |          |
|                                                                                                       | G                                                                                                                                                                                                                            | > 250              |                                                                             |          |
| Подаци о лицу које је издао енергетски пасош                                                          |                                                                                                                                                                                                                              |                    |                                                                             |          |
| Овлашћена организација:<br>Потпис овлашћеног лица и печат организације:<br><br>_____<br>(потпис) М.П. |                                                                                                                                                                                                                              |                    |                                                                             |          |
| Одговорни инжењер:<br>Потпис и печат одговорног инжењера ЕЕ:<br><br>_____<br>(потпис) М.П.            |                                                                                                                                                                                                                              |                    |                                                                             |          |
| Број пасоша:<br>Датум издавања/рок важења:                                                            |                                                                                                                                                                                                                              |                    |                                                                             |          |

Слика 1. Прва страна енергетског пасоша за стамбене зграде

На слици 1. је приказана прва страна пасоша за стамбене зграде. Енергетски пасош зграде је документ, тацније елаборат, који садржи податке о енергетском разреду зграде, који указује на финалну годишњу потрошњу топлотне енергије за грејање.

Енергетски пасош зграде је битно средство које нас води ка циљу, а то је изградња енергетски ефикасних зграда.

## 2.3. Енергетски разреди и процес издавања пасоша

Енергетски разред за стамбене зграде одређује се на основу максималне дозвољене годишње потребне финалне енергије за грејање [kWh/(m<sup>2</sup>a)], дефинисану прописом којим се уређују енергетска својства зграда на начин да су постојећи објекти одвојени од нових. Максимална дозвољена годишња потребна финална енергија за грејање  $Q_{H,nd,max}$  одговара енергетском разреду „C“. Енергетски разред зграде је индикатор енергетских својстава зграде.

Годишња потрошња финалне енергије за грејање [%] које се одређује на следећи начин:

$$Q_{H,nd,rel} = \frac{Q_{H,nd}}{Q_{H,nd,max}} \times 100\%$$

$Q_{H,nd,rel}$  - релативна вредност годишње финалне енергије за грејање [%]

$Q_{H,nd}$  - годишња потребна енергије за грејање [kWh]

$Q_{H,nd,max}$  - максимална вредност годишње финалне енергије за грејање [%]

Енергетски пасош издаје овлашћена организација, по извршеном енергетском прегледу зграде, вредновању и завршном оцењивању испуњености прописаних захтева о енергетским својствима зграде (енергетска сертификација) у поступку техничког пријема зграде, а прилаже се уз захтев за издавање употребне дозволе. PRIVREDNO DRUŠTVO, ODNOSNO DRUGO PRAVNO LICE KOJE ISPUNJAVA PROPISANE USLOVE, U SKLADU SA ZAKONOM O PLANIRANJU I IZGRADNJI I PRAVILNIKOM.

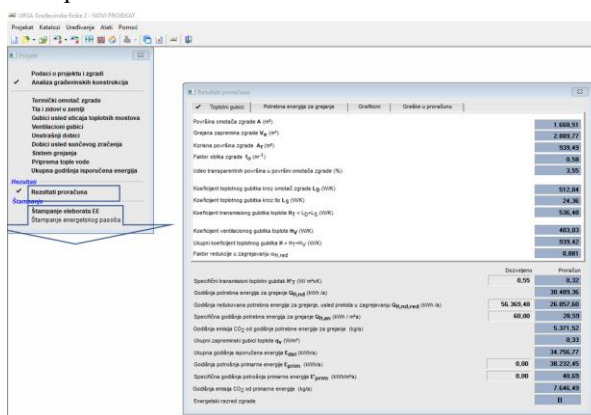
Прilikом израде енергетског пасоша предвиђено је место где се предлажу мере за унапређење енергетске ефикасности предметног објекта. Уколико је објекат у енергетском разреду А онда нису потребне да се предлажу мере енергетске ефикасности.

## 3. PROGRAM URSA GRAĐEVINSKA FIZIKA 2

За израду елабората енергетске ефикасности коришћен је софтвер „URSA“ који је креирала фирма „URSA“ d.o.o. из Београда. Софтвер је намењен за израду елабората е енергетске ефикасности објеката у зградарству према Правилнику о енергетској ефикасности зграда као и пратећим стандардима SRPS EN ISO 13790, SRPS EN 15315, SRPS EN 15217, SRPS U.J5.520, SRPS U.J5.530, и осталих. Према inputима који се ручно уносе овај софтвер аутоматски креира енергетски пасош према Правилнику о условима, и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда [4]. Стандардом су прописани основни технички захтеви који морају бити задовољени. За израду елабората енергетске ефикасности у програму URSA дефинисан је следећи ток процеса:

- Отварање TAB-а нови пројекат уношење основних података: место, слика ситуационог плана, грејана запремина, корисна површина зграде, врста зграде (постојећа или нова), тип градње...
- ☐ Уношење нетранспарентних конструкција које чине термички омотач зграде, и њихова провера на пародифузију, кондензацију на унутрашњој површини, топлотну стабилност, као и провера коефицијента пролаза топлоте са прописаним вредностима. Уношење транспарентних конструкција и израчунавање њихових коефицијента пролаза топлоте.[4]
- ☐ Уношење у таблицу конструкција које чине термички омотач зграде, њихових коефицијената пролаза топлоте и површина, оријентације и нагибе. Рачунање коефицијената површинског трансмисионог губитка зграде  $H_{ts}$  и површине термичког омотача зграде.

- Zatim na osnovu površine termičkog omotača zgrade, računaju se linijski transmisivni gubici zgrade.
- Dalje se radi proračun ventilacionih gubitaka zgrade na osnovu položaja zgrade u odnosu na teren, u odnosu na ostale objekte u blizini i na osnovu kvaliteta stolarije koja se ugrađuje na objektu.
- Određivanje unutrašnjih dobitaka od ljudi i osvetljenja
- Određivanje dobitaka usled sunčevog zračenja kroz transparentne i netransparentne površine
- Određivanje ukupne godišnje potrošnje energije za grejanje emisije CO<sub>2</sub> od ove energije i klasifikaciju objekta u određenu klasu potrošnje energije za grejanje.
- Softver na kraju svih unetih i izračunatih parametara daje print elaborata EE i energetskog pasoša.



Slika 2. Dobijeni rezultati proračuna URSA

#### 4. ENERGETSKA SERTIFIKACIJA

Energetska sertifikacija objekata je izvršena u skladu sa Pravilnikom o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada. Predmet energetske sertifikacije sastoji se od 17 stambenih objekata.

Objekti su različitih karakteristika, i površine. Energetski razredi objekata određeni su na osnovu specifične godišnje potrebne toplote za grejanje u zavisnosti od kategorije zgrade. Pored ispunjenosti parametara energetske efikasnosti objekta ispunjeni su: vazdušni, toplotni, svetlosni i zvučni komfor.

Objekti se nalaze na različitim lokacijama, a to su: Novi Sad, Vršac, Loznica, Požarevac i Bor. U zavisnosti od lokacija menjaju se klimatski podaci (spoljna projektna temperatura, broj stepen dana za grejanje, broj dana za grejanje i srednja temperatura grejanog perioda). Unutrašnja projektna temperatura za sve objekte je identična i iznosi 20°C.

##### 4.1. Definisanje parametara za analizu

Kategorizacija objekata izvršena je na osnovu površine, dok je uporedna analiza izvršena prema:

- Načinu grejanja (lokalno, centralno, daljinsko);
- Vrsti energenta (prirodni gas, čvrsto gorivo, obnovljiv izvor energije);
- Načinu regulacije sistema grejanja (lokalna, centralna ili automatska centralna).

Tabela 1. Podela objekata po kategorijama

| KATEGORIJA 1                                 |                                          |                        |           |           |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| Kuća                                         |                                          |                        |           |           |
| Broj objekta                                 | Korisna površ. objekta [m <sup>2</sup> ] | NGZO [m <sup>3</sup> ] | Lokacija  | Spratnost |
| Objekat 1                                    | 120,44                                   | 293,18                 | Novi Sad  | P+1       |
| Objekat 2                                    | 86,82                                    | 226,62                 | Novi Sad  | P+1       |
| Objekat 3                                    | 42,03                                    | 153,50                 | Novi Sad  | P         |
| Objekat 4                                    | 64,12                                    | 230,12                 | Novi Sad  | P         |
| Objekat 5                                    | 84,70                                    | 225,93                 | Vršac     | P+1       |
| Objekat 6                                    | 155,83                                   | 434,57                 | Novi Sad  | P+1       |
| Objekat 7                                    | 110,72                                   | 275,57                 | Novi Sad  | P+1       |
| Objekat 8                                    | 63,16                                    | 198,61                 | Novi Sad  | P+1       |
| Objekat 9                                    | 42,01                                    | 155,80                 | Vršac     | P         |
| KATEGORIJA 2                                 |                                          |                        |           |           |
| Manja stambena zgrada sa najviše 4 stana     |                                          |                        |           |           |
| Objekat 10                                   | 222,54                                   | 549,36                 | Vršac     | P+1       |
| Objekat 11                                   | 206,68                                   | 706,22                 | Vršac     | P+1+Pk    |
| KATEGORIJA 3                                 |                                          |                        |           |           |
| Srednja stambena zgrada sa najviše 8 stanova |                                          |                        |           |           |
| Objekat 12                                   | 413,76                                   | 819,20                 | Vršac     | P+1+Pk    |
| Objekat 13                                   | 413,76                                   | 1079,57                | Vršac     | P+1+Pk    |
| Objekat 14                                   | 939,49                                   | 1668,51                | Loznica   | P+2       |
| KATEGORIJA 4                                 |                                          |                        |           |           |
| Veća stambena zgrada sa više od 10 stanova   |                                          |                        |           |           |
| Objekat 15                                   | 594,51                                   | 1490,82                | Požarevac | P+3       |
| Objekat 16                                   | 589,67                                   | 1382,46                | Požarevac | P+3       |
| KATEGORIJA 5                                 |                                          |                        |           |           |
| Veća zgrada sa dve ili više lamele           |                                          |                        |           |           |
| Objekat 17                                   | 4720,40                                  | 10207,85               | Bor       | P+4+ Pk   |

Parametri korišćeni u analizi:

$$\text{Godišnja potrebna en: } Q_{h,ls} = Q_{h,nd} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \quad (1)$$

$$\text{stepen korisnosti postrojenja: } \eta = \eta_k \cdot \eta_c \cdot \eta_r \quad (2)$$

$$\text{isporučena toplota: } Q_h = Q_{h,nd} + Q_{h,ls} \quad (3)$$

Potrebna primarna energija Eprim:

$$E_{prim} = Q_h \cdot f_{prim1} + Q_{aux} \cdot f_{prim2} \quad (4)$$

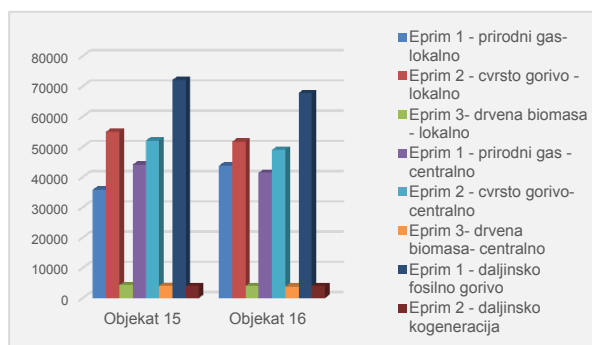
## 5. REZULTATI

U daljoj analizi odrađen je proračun potrebne primarne energije za rad sistema pri varijabilnim parametrima:

1. Vrste energenta (prirodni gas, čvrsto gorivo, drvena biomasa)
2. Načina grejanja (lokalni, centralni)
3. Načina regulacije sistema ( lokalno, centralno i lokalno)
4. Daljinsko grejanje (fosilno gorivo i kogeneracija)

Pri analizi sa svaku od navedenih kategorija objekata dobijeni rezultati pokazuju koji objekat ima potrebu za najmanjom i najvećom količinom potrebne primarne energije u zavisnosti od promene gore pomenutih parametara.

Slika 3. Primer uporednih rezultata za kategoriju 4



Na osnovu uporedne analiza za kategoriju 1 najmanje potrebe za primarnom energijom za rad sistema ima objekat 3 u slučaju centralnog grejanja usled korišćenja drvene biomase i pri centralnoj i lokalnoj regulaciji sistema grejanja. Najveće potrebe za primarnom energijom za rad sistema ima objekat 5 u slučaju lokalnog grejanja pri korišćenju čvrstog goriva i pri lokalnoj regulaciji sistema grejanja.

Na osnovu uporedne analize u slučaju kategorije 2 najmanje zahteve za primarnom energijom za rad sistema, objekat 10 ima u slučaju korišćenja centralnog sistema grejanja prilikom korišćenja drvene biomase kao energenta i pri lokalnoj i centralnoj regulaciji sistema. Dok najveće potrebe za primarnom energijom za rad sistema objekat 11 ima u slučaju daljinskog grejanja pri čemu toplana koristi kao energent fosilna goriva.

Na osnovu uporedne analize kod kategorije 3 najmanje zahteve za primarnom energijom za rad sistema ima objekat 12 u slučaju centralnog grejanja pri korišćenju drvene biomase kao energenta i prilikom centralne i lokalne regulacije. Dok najveće potrebe za primarnom energijom na godišnjem nivou ima objekat 14 u slučaju korišćenja daljinskog grejanja pri radu toplane na fosilna goriva.

Na osnovu uporedne analize kod kategorije 4 najmanje zahteve za primarnom energijom za rad sistema ima objekat 16 u slučaju centralnog grejanja usled korišćenja drvene biomase kao energenta i pri centralnoj i lokalnoj regulaciji. Najveće potrebe za primarnom energijom na godišnjem nivou ima objekat 15 u slučaju kada je daljinski sistem grejanja pri radu toplane na fosilna goriva.

Na osnovu uporedne analize kod kategorije 5 objekat ima najmanje zahteve za primarnom energijom za rad sistema ima u slučaju korišćenja centralnog grejanja usled korišćenja drvene biomase kao energenta i pri centralnoj i lokalnoj regulaciji. Najveću potrebu za primarnom energijom objekat 17 ima u slučaju daljinskog grejanja usled rada toplane na fosilna goriva.

## 6. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj energetske sertifikacije objekta je da se prikupljanjem i obradom niza podataka dobije što tačniji uvid u energetske stanje objekta s obzirom na : građevinske karakteristike u smislu toplotne zaštite; kvalitet sistema grejanja; hlađenje; strukturu upravljanja zgradom...nakon čega se odabiraju konkretne optimalne mere za povećanje energetske efikasnosti.

## 7. LITERATURA

- [1] <http://stanovanje.gov.rs/latinica/energetska-efikasnost.php> preuzeto: 20.05.2021.
- [2] <https://koliko-je-bitna-energetska-efikasnost-zgrada/> preuzeto: 20.05.2021.
- [3] dr Maja Todorović, dr Aleksandar Rajčić: Priručnik za energetske sertifikaciju zgrada (**ESZ**), Deutsche Gesellschaft für, Beograd, mart 2017
- [4] URSA d.o.o. Beograd: Uputstvo za upotrebu programa-URSA GRAĐEVINSKA FIZIKA 2, Beograd.

### Kratka biografija:



**Jelena Kovačević** rođena je u Sremskoj Mitrovici 1992. god. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstvo – Energetika i procesna tehnika završila je 2016. god.

## NUMERIČKA SIMULACIJA PROCESA SABIJANJA U USLOVIMA RAVANSKE DEFORMACIJE SA EKSPERIMENTALNOM PROVEROM

### THE NUMERICAL SIMULATION OF PLANE STRAIN UPSETTING PROCES CONDITIONS WITH EXPERIMENTAL VERIFICATION

Milomir Kuzović, Marko Vilotić, Jovan Dorić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – MAŠINSTVO

**Kratak sadržaj** – U ovom radu izvršen je set numeričkih simulacija procesa ravanskog sabijanja sa ciljem prikupljanja informacija o ponašanju čelika DIN – Ck45 u uslovima ravanske deformacije. Prizmatični uzorak se deformiše u alatu koji mu sprečava bočno proširenje. Proces je izveden prvo pomoću numeričkih simulacija, nakon čega je izvršena eksperimentalna provera na hidrauličnoj presi.

**Ključne reči:** Ravansko sabijanje, plastično deformisanje, numerička simulacija

**Abstract** – In this paper, a set of plane strain process numerical simulations has been carried out to obtain information about the behavior of steel DIN – Ck45 in plane strain conditions. A prismatic workpiece is being deformed in the die that prevents lateral expansion. At first, the process is conducted by numerical simulations, followed by experimental verification on a hydraulic press.

**Keywords:** Plain strain compression, metal forming, numerical simulation

#### 1. UVOD

Razvoj tehnologija plastičnog deformisanja (TPD), zajedno sa naglim napretkom u razvoju računarskih simulacija proizvodnih procesa zasnovanih na numeričkim metodama poslednjih nekoliko decenija, omogućio je pojavu novih proizvoda i polufabrikata koji su od svojih prethodnika superiorniji po mnogim parametrima [1, 2]. Unapređenje produktivnosti istraživača, inženjera i tehnologa koji se bave izučavanjem TPD-a kroz sposobnost simuliranja procesa numeričkim metodama imalo je za posledicu poboljšavanje gore navedenih parametara proizvoda dobijenih TPD procesima tako što im je omogućilo da jasnije vide, razumeju i prate proces proizvodnje.

Iako je napredak sposobnosti predviđanja procesa numeričkim simulacijama neosporan, mora se uzeti u obzir da postoje granični slučajevi procesa u vidu parametara simulacije, geometrije alata i priprema, osobina materijala koji se simulira i drugi koji ne retko dovode do nedovoljno tačnih i loših rezultata.

#### NAPOMENA:

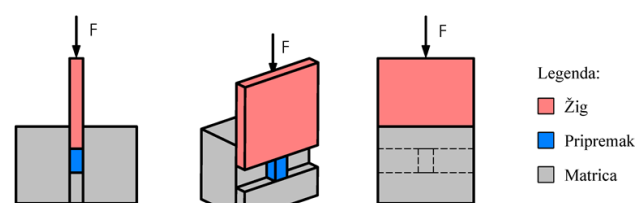
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marko Vilotić, docent.

Ovakvi rezultati posledica su mnogih ograničavajućih faktora koji se javljaju kod simulacija numeričkim metodama.

Zbog ovih ograničavajućih faktora neophodno je izvršiti eksperimentalna ispitivanja realnog procesa obrade, koja imaju za cilj proveru rezultata dobijenih metodama numeričkih simulacija. Glavni nedostatak eksperimentalnih ispitivanja u odnosu na računarske simulacije je značajno viša cena i utrošak resursa za dobijanje rezultata. Iz ovog nedostatka stvara se prirodna težnja istraživača da se obim eksperimentalnih ispitivanja svede na minimum koji daje zadovoljavajuće rezultate. Takva težnja dovela je do potrebe industrije za poboljšavanjem mogućnosti numeričkih simulacija.

#### 2. ZADATAK SIMULACIJE PROCESA RAVANSKOG SABIJANJA

Zadatak ovog rada jeste prikupljanje informacija o ponašanju priprema prizmatičnog oblika, izrađenog od čelika DIN - Ck45 pomoću numeričkih simulacija praćenih eksperimentalnom proverom rezultata. Proces deformisanja izvršen je u hladnom stanju u uslovima ravanske deformacije u alatu koji sprečava bočno proširenje obratka tokom procesa deformisanja. Softver korišćen za simulacije procesa deformisanja je SFTC Deform 11.0. Šema procesa prikazana je na slici 2.1.



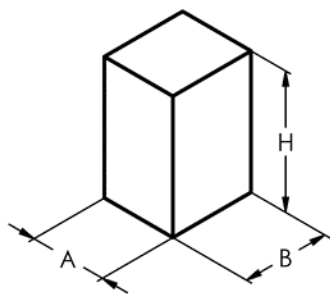
Slika 2.1. Šema procesa sabijanja sa ograničenim bočnim širenjem

Simulacije operacije sabijanja urađene su u pet varijanti, po jednu za svaku od pet zadatih vrednosti hoda prese. Dimenzije priprema su jednake za svih 5 varijanti simulacija procesa. Slika 2.2 prikazuje geometriju priprema, a tabela 2.1 sadrži njihove podatke.

Za svih pet simulacija izvršeno je praćenje parametara neophodnih za obradu rezultata simulacije. Sve simulacije imaju iste ulazne parametre izuzev hoda i broja koraka praćenja simulacije.

Potrebno je prikazati sledeće rezultate simulacija: dijagram sila-hod, tabelu koja sadrži vrednosti maksimalne sile deformisanja i tabelu koja sadrži tvrdoću uzoraka nakon procesa deformisanja.





Slika 2.2. Pripremak za sabijanje u uslovima ravanske deformacije

Tabela 2.1. Podaci o pripremu

| Materijal            |        |
|----------------------|--------|
| SRPS                 | Č 1531 |
| DIN                  | Ck45   |
| EN                   | C45E   |
| Dimenzije (mm)       |        |
| A                    | 14     |
| B                    | 16     |
| H                    | 25     |
| Tvrdća Vickers metod |        |
| HV10                 | 170    |

### 3. ULAZNI PARAMETRI SIMULACIJA

Svih pet simulacija izvršeno je pomoću modula za zapreminsko deformisanje u hladnom stanju (3D - Cold Forming). Matrica – donji alat i žig – donji alat su simulirani kao kruta tela. Karakteristike priprema definisane su iz baze podatka materijala za čelik DIN - Ck45. Mreža priprema sastoji se iz 20 000 elemenata.

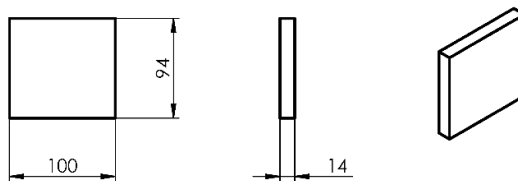
Brzina kretanja gornjeg alata je 0.5 mm/s. Zadana vrednost koeficijenta trenja je 0.12. Sve simulacije imaju iste ulazne parametre izuzev hoda i broja koraka praćenja simulacije koji su dati u tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Plan simulacija

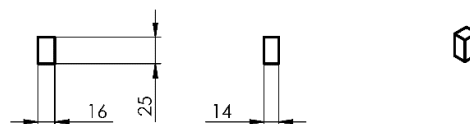
| Plan simulacija |          |                      |
|-----------------|----------|----------------------|
| Broj simulacije | Hod (mm) | Broj koraka praćenja |
| 1.              | 4        | 40                   |
| 2.              | 8        | 80                   |
| 3.              | 11       | 110                  |
| 4.              | 14       | 140                  |
| 5.              | 16       | 160                  |

### 4. GEOMETRIJA PRIPREMA I ALATA

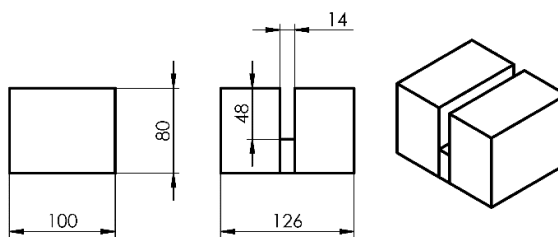
Geometrija matrice je modelirana kao tri tela (multi-body part), nalik realnom alatu korišćenom prilikom eksperimentalnih ispitivanja. Ovo je omogućilo da rezultat simulacije ima slične ivice kao radni komad u eksperimentalnim ispitivanjima.



Slika 3.1. Gornji alat - Žig



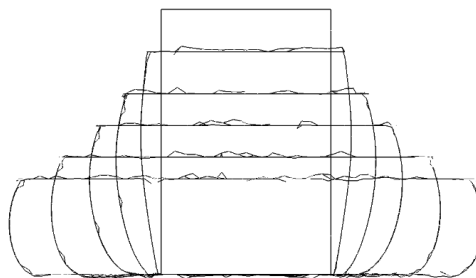
Slika 3.2. Pripremak



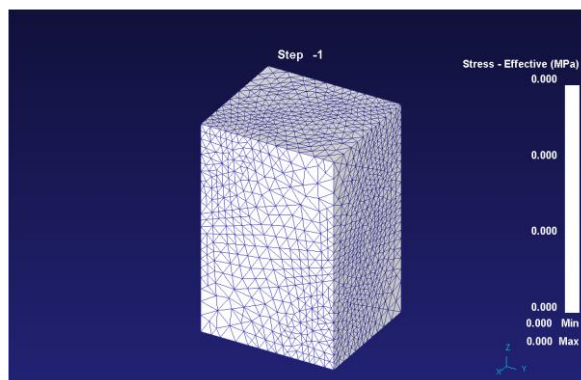
Slika 3.3. Donji alat - Matrica

## 5. REZULTATI SIMULACIJA I EKSPERIMENTALNA PROVERA

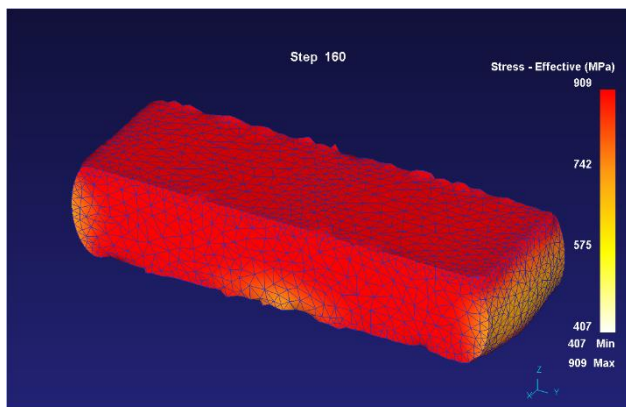
Promena geometrije uzorka tokom procesa deformisanja kroz svih pet faza prikazana je na slici 5.1. Na slici 5.2 prikazana je mreža konačnih elemenata uzorka pre deformisanja. Slika 5.3 prikazuje konačan izgled mreže konačnih elemenata uzorka nakon deformisanja.



Slika 5.1. Promena geometrije tokom simulacije procesa sabijanja uslovima ravanske deformacije sa sprečenim bočnim širenjem



Slika 5.2. Mreža konačnih elemenata pre deformisanja



Slika 5.3. Mreža konačnih elemenata nakon maksimalne veličine hoda prese –  $s = 16 \text{ mm}$

Na slici 5.4 prikazani su uzorci nakon obrade ravanskim sabijanjem na hidrauličnoj presi.

Tabela 5.1. Maksimalna sila ostvorena tokom simulacija procesa deformisanja

| Maksimalna sila deformisanja simulacija |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| Broj uzorka                             | Sila (kN) |
| 1.                                      | 263       |
| 2.                                      | 355       |
| 3.                                      | 441       |
| 4.                                      | 657       |
| 5.                                      | 931       |

Tabela 5.2. Maksimalna sila ostvorena tokom eksperimentalnih ispitivanja procesa deformisanja

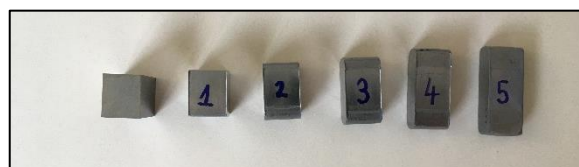
| Maksimalna sila deformisanja eksperimentalnih ispitivanja |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| Broj uzorka                                               | Sila (kN) |
| 1.                                                        | 217       |
| 2.                                                        | 304       |
| 3.                                                        | 399       |
| 4.                                                        | 618       |
| 5.                                                        | 917       |

Tabela 5.3. Tvrdća uzoraka nakon obrade deformisanjem izmerena Vickers metodom

| Tvrdća uzoraka nakon deformisanja |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Broj uzorka                       | Tvrdća HV10 |
| 0.                                | 170         |
| 1.                                | 236         |
| 2.                                | 280         |
| 3.                                | 275         |
| 4.                                | 292         |
| 5.                                | 289         |

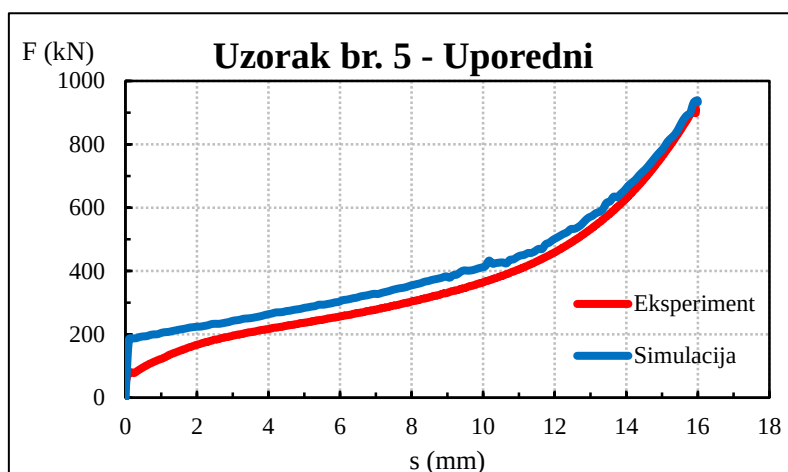
Tabela 5.4. Konačne dimenzije uzoraka nakon simulacija

| Konačne dimenzije uzoraka nakon simulacija (mm) |       |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                                                 |       |        |        |        |        |
| Broj uzorka                                     | A     | B(min) | B(max) | H(min) | H(max) |
| 0.                                              | 14    | 16     | 16     | 25     | 25     |
| 1.                                              | 14,04 | 16,55  | 19,95  | 21,03  | 25,67  |
| 2.                                              | 13,93 | 18,48  | 24,64  | 16,92  | 22,54  |
| 3.                                              | 14,00 | 27,52  | 29,52  | 14,00  | 16,87  |
| 4.                                              | 14,00 | 33,82  | 37,08  | 10,85  | 11,58  |
| 5.                                              | 14,00 | 41,53  | 44,60  | 8,97   | 9,62   |



Slika 5.4. Uzorci nakon obrade ravanskim sabijanjem

Na slici 5.5 prikazan je dijagram [Sila - Hod] za uzorak koji je tokom procesa deformisanja bio izložen maksimalnoj zadatoj vrednosti hoda prese. Ovaj dijagram najbolje od svih preostalih dijagrama prikazuje promenu deformacione sile tokom procesa ravnog sabijanja uzoraka. Kod svih pet uporednih dijagrama oblik obe krive se poklapa, ali sa odstupanjem vrednosti sile deformisanja. Vrednost sile deformisanja koja je dobijena simulacijama najviše odstupa pri manjim opterećenjima kod uzorka 1 gde je veća od realne sile dobijene eksperimentom u proseku 83%. Najmanje odstupanje javlja se pri najvećem opterećenju kod uzorka 5 gde su se dijagrami približno poklopili.



Slika 5.5. Uporedni dijagram [Sila - Hod] - Uzorak 5 (maksimalan hod)

## 6. ZAKLJUČAK

Povećanje mogućnosti istraživača, inženjera i tehnologa koji se bave izučavanjem TPD-a kroz sposobnost simuliranja procesa numeričkim metodama imalo je za posledicu poboljšavanje karakteristika proizvoda dobijenih TPD procesima tako što im je omogućilo da jasnije vide, razumeju i prate proces proizvodnje.

Na osnovu uporedne analize rezultata računarskih simulacija zasnovanih na numeričkim metodama i rezultata eksperimentalnih ispitivanja, došlo se do sledećeg zaključka:

Svaki od pet dijagrama [Sila - Hod] dobijen pomoću simulacija ima identičan oblik krive sa svojim suparnikom dobijenim pomoću eksperimentalnih ispitivanja. Pri malim opterećenjima, vrednosti sile deformisanja kod simulacija su veće od onih dobijenih pri eksperimentalnim ispitivanjima, ali se na većim vrednostima opterećenja usklađuju.

Računarske simulacije procesa hladnog deformisanja softverskog paketa SFTC DEFORM 11.0 daju zadovoljavajuće tačne rezultate prilikom rešavanja numeričkih simulacija problema hladnog deformisanja u uslovima ravanskog stanja deformacije sa sprečenim bočnim širenjem materijala priprema i mogu se koristiti za prikupljanje informacija o ponašanju materijala prilikom procesa deformisanja gde se radni predmet deformiše u uslovima ravanske deformacije.

[2] Plančak, M., Vilotić, D., Vujović, V. Tehnologija plastičnosti u mašinstvu II. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka, 1992.

[3] Kuzović, M., Analiza Procesa Sabijanja u Uslovima Ravanske Deformacije sa Eksperimentalnom Proverom – Master Rad. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka, 2021.

### Kratka biografija:



**Milomir Kuzović** rođen je u Užicu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Obrada metala deformisanjem odbranio je 2021.god.



**Marko Vilotić** rođen je u Novom Sadu 1979. god. Diplomom osnovnih i magistarskih studija, kao i doktorat stekao je na Fakultetu tehničkih nauka. Na Fakultetu tehničkih nauka (Katedra za tehnologije oblikovanjem i inženjerstvo površina) radi kao docent.



**Jovan Dorić** rođen je 1983. godine, doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2012. godine, trenutno radi u zvanju vanrednog profesora i vrši dužnost šefa katedre za motore i vozila.

## 7. LITERATURA

[1] Plančak, M., Vilotić, D. Tehnologija Plastičnog Deformisanja (Metal Forming Technology). Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka, 2012.

**PRIMENA INDUSTRIJSKOG STANDARDISA-95****APPLICATION OF INDUSTRY STANDARD ISA-95**Nenad Zelenović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljeno je programsko rešenje koje se bavi komandovanjem nad opremom u polju pomoću simulatora ili preko klijentske aplikacije, primenjujući principe i smernice ISA-95 standarda.

**Ključne reči:** ISA-95 standard, SCADA komponente, komunikacija

**Abstract** – This paper presents an application that deals with the execution of the sets of command for the equipment in the field using a simulator or a client application and applying the principles and guidelines of the ISA-95 standard.

**Keywords:** ISA-95 standard, SCADA components, communication

**1. UVOD**

Za vođenje uspešne kompanije potrebno je obezbediti odgovarajući sistem kojim je moguće deliti informacije kroz slojeve i delove kompanije, a da sistem bude pouzdan i sinhronizovan. Takođe te informacije moraju biti razumljive i čitljive kroz sve delove kompanije, od pogona i kontrolnih soba do kancelarija gde se razvijaju biznis planovi. Vrlo često, zaposleni iz proizvodnih i poslovnih slojeva u međusobnoj komunikaciji koristili različite nazive za iste pojmove.

U poslednjih par decenija, industrijske kompanije su investirale u sisteme poslovne logistike (ERP - *Enterprise Resource Planning*). Takođe, veliki deo novca i vremena je potrošen na investiranje u automatizaciju industrijskih pogona pomoću upravljačkih sistema kao što je SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Zbog toga se ukazala potreba približavanja i uvezivanja ova dva sistema u jednu celinu. ERP sistemi su najkorisniji kada se hrane trenutnim i validnim informacijama, onim koje se po pravilu nalaze u kontrolnim sistemima [1].

U projekte koji su usmereni na integraciji između ERP i upravljačkih sistema, obično je uključen veliki broj odseka, kao što su proizvodnja, održavanje, laboratorija i kancelarija. Navedeno ukazuje da su preduzeća suočena sa velikom prazninom između poslovnih i kontrolnih sistema. Stoga je bilo potrebno da se razvije standard koji će uvesti odgovarajuće principe, terminologiju i modele za uspešno poslovanje kompanije, kao i mogućnosti integrisanja slojeva u jednu sinhronizovanu celinu. Kao rešenje tog problema uvodi se ISA-95 standard.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Branislav Atlagić, docent.

Predmet rada jeste istraživanje koncepta koji je izložen u standardu ISA-95, kao i implementacija jedne sprege ovog tipa na primeru školskog akviziciono upravljačkog sistema. Iako daleko od kompleksnosti realnih industrijskih sistema, ovaj rad treba primerom da ukaže na ključne komponente koje su neophodne pri sprezanju poslovnih i proizvodnih segmenata neke kompanije. Naravno, kako je poslovni segment podržan ERP softverom, a proizvodni svojim SCADA sistemom, u radu su u rudimentarnoj formi realizovane obe komponente, kao i sprega između njih u duhu standarda ISA-95.

**2. TEORIJSKE OSNOVE****2.1 Istorija ISA-95 standarda**

ISA-95 predstavlja internacionalni standard koji služi za integrisanje biznis i kontrolnih sistema u cilju smanjenja rizika, troškova i stvaranja grešaka koje idu paralelno sa implementacijom interfejsa između takvih sistema. ISA je globalna neprofitna organizacija. Prvobitno ISA je označavala *Instrument Society of America*, ali je ovaj naziv kasnije preimenovan u *Instrumentation, Systems and Automation Society*. Ovaj naziv je promenjen 2000 god. ISA definiše svoje ključne aktivnosti kao što su: standardizacija, sertifikacija, obrazovanje i obuka, publikacije i izložbe iz oblasti industrijske automatizacije [2].

**2.2 Svrha ISA-95 standarda**

Komuniciranje o sistemu može biti teško, jer različiti ljudi u isti razgovor često koriste različita imena opštih termina. ISA-95 definiše reči koje se odnose na sisteme poslovne logistike (ERP) i na kontrolne sisteme. ISA-95 stavlja ovu terminologiju u modele koji jasno pokazuju vezu između različitih pojmova. Ovaj princip možemo uporediti sa nacrtima za kuću. Reči *prozor*, *vrata*, *zid* i *krov* su svima nama poznati i koristimo ih za međusobno razgovaranje kada se spominje kuća. Svaka kuća je drugačija, ali i dalje možemo opisati svaku kuću sa istim simbolima i rečima za vrata, krovove, zidove i prozore. Isto se odnosi i na ISA-95. Ne postoje dve slične kompanije i ipak možemo koristiti ISA-95 modele i terminologiju za razgovor sa drugim kompanijama o aktivnostima, funkcijama, tokovima informacija unutar tih kompanija... Kao rezultat, postalo je lakše ne samo na nivou ljudske komunikacije, već i na tehničkom nivou, za integraciju različitih sistema.

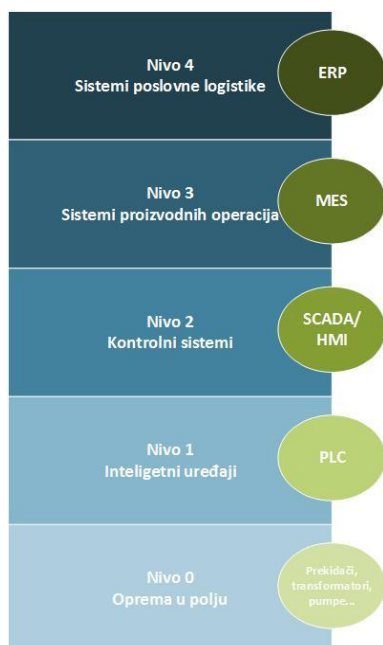
Cilj ISA-95 standarda je da smanji troškove, rizike i greške povezane sa implementacijom interfejsa između ERP i kontrolnih sistema. Standard se može koristiti za pojednostavljenje implementacije novih softverskih proizvoda i da na kraju se stvori laka interoperabilnost između ERP i kontrolnih sistema.



## 2.3 Nivoi ISA-95 standarda

ISA-95 standard deli postojenja, opremu i imovinu na 5 nivoa [3]:

- **Nivo 0 (nulti)** – predstavlja samu opremu u polju (prekidači, transformatori, pumpe...)
- **Nivo 1** – predstavlja opremu koja očitava stanja sa polja tj iz nultog nivoa, kao i manipulaciju nad njima.
- **Nivo 2** – omogućava monitoring, nadgledanje, manuelnu i automatsku kontrolu nad opremom u polju. Ovaj nivo sadrži kompletan uvid u infrastrukturu celog sistema, kao i uvid u svaki vid promene vrednosti opreme u polju.
- **Nivo 3** – ovaj nivo definiše aktivnosti radnog procesa za proizvodnju željenih krajnjih proizvoda, sadrži uvid u detaljan raspored proizvodnje, kao i kompletne istorijske podatke.
- **Nivo 4** – u ovom nivou se obavljaju funkcije kao što su operacioni menadžment, planiranje proizvodnje i logistika. Utvrđuju se dugoročni, srednjoročni ili kratkoročni planovi koji će doneti profit.



Slika 1 - Nivoi ISA-95 standarda

## 2.4 Razlike između sistema proizvodnih operacija i poslovne logistike

### 2.4.1 Fokus i svrha

ERP funkcioniše kao sredstvo za razmenu informacija unutar organizacije [4]. Sistem povezuje svaki deo posla i omogućava nesmetan protok informacija. Delujući kao sveobuhvatni put podataka čini ERP dragocenim alatom za upravljanjem, jer donosi odluka daje mogućnost da duboko zarone u svaki deo poslovanja i na smislene načine povežu ranije udaljene podatke.

Razlog za dodavanje MES-a jeste, s druge strane, pružanje sredstava za preciznu kontrolu proizvodnog procesa. MES preduzima korake ili generiše izveštaje na osnovu onoga što se trenutno događa kako bi nagledale promenljive koje utiču na efikasnost proizvodnje.

### 2.4.2 Sredstva za prikupljanje podataka

Ljudi obično većinu informacija prosleđuju u ERP. Ovo ručno prikupljanje podataka dobro funkcioniše, jer se sistem prvenstveno bavi prikupljanjem, organizovanjem i razmenjivanjem informacija širom organizacije radi planiranja i vođenja. Savremeni ERP sistemi imaju jednu bazu podataka za celu organizaciju, tako da se suvišni unosi smanjuju ili uklanjaju.

MES se koristi za pokretanje proizvodne operacije, upravljanjem i izveštavanjem o aktivnostima postrojenja u slučaju događaja, u realnom vremenu. Održava se evidencija istorije podataka i ističu se izuzetci. Ove informacije pružaju tačne i pravovremene informacije ERP-u, omogućavajući kompaniji da reaguje dovoljno brzo kako bi mogla pratiti korake koji se brzo menjaju.

### 2.4.3 Šta pokreće akcije

ERP izvršava instrukcije na osnovu finansijskih transakcija. Kada kupci izvrše narudžbine, dobavljači šalju te narudžbine. ERP je multifunkcionalan, ali ga programeri grade prvenstveno oko ekonomske podstrukture. S druge strane, MES je vođenjem dešavanjem događaja. Ovaj sistem je dizajniran za nagledanje događaja specifičnih za proizvodno okruženje. Nagledanje podataka u realnom vremenu omogućava MES-u da obavlja zadatke kao što su obezbeđivanje usaglašenosti za proizvodnim procesom, praćenje potrošnje zaliha, zakazivanje održavanja mašina na osnovu performansi i preuređivanje postupaka radi efikasnijeg korišćenja raspoloživih resursa.

## 2.5 Prednosti korišćenja ISA-95 standarda

ISA-95 standard se može koristiti kao metoda za definisanje interfejsa između sistema poslovne logistike i kontrolnih sistema. Pomaže pri unapređenju komunikacije između različitih kompanija. Svaka proizvodna kompanija koristi sopstvenu terminologiju za opisivanje funkcija, aktivnosti i odeljenja u kompaniji. Kada morate da radite sa spoljnim konsultantima, komunikacija će biti teška. Velika je šansa da ćete te pričati o različitim stvarima kada koristite iste izraze ili obrnutno.

Integracija između sistema poslovne logistike i kontrolnih sistema pre ISA-95 za vreme pravljenja nekog projekta je trajala između 1-2 godine sa procentom od 50% i manje uspešnosti. Nakon korišćenja ISA-95 standarda vremenski period se smanjio na 2-4 meseca sa procentom od 90% i više uspešnosti. Na osnovu ove statistike možemo da utvrdimo da je ISA-95 standard bio veliki uspeh [5].

## 3. TEHNOLOGIJE I ALATI

### 3.1 .NET Framework

Okruženje za razvoj softvera, razvijano od strane Microsoft-a za Windows platforme. Uključuje veliku biblioteku klasa (*Framework Class Library*). Microsoft je sa razvojem .NET-a počeo ranih 1990-tih, pod nazivom *Next Generation Windows Services* [6].

### 3.2 Microsoft Visual Studio

Predstavlja integrisano okruženje za razvoj računarskih programa za Windows, web-stranica, aplikacija i usluga. Koristi Microsoft-ove platforme za razvoj raznih API-ja za Windows, Windows Forms, WPF [7].

### 3.3 C#

Objektno orijentisan programski jezik koji je razvio Microsoft početkom 21-og veka. Reč je o jeziku opšte namene koji služi za pravljenje aplikacija u okviru .NET okruženja [8].

### 3.4 Windows Presentation Form (WPF)

Grafički podsistem za renderovanje korisničkog interfejsa u aplikacijama zasnovanim na Windows operativnim sistemima [9]. Razvijen je od strane Microsoft-a. WPF koristi XAML, izveden od XML-a da definiše i poveže različite UI elemente.

### 3.5 Microsoft SQL Server

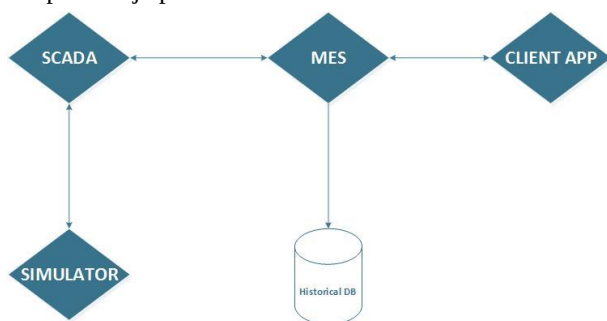
Predstavlja relacijsku bazu podataka kojoj je primarni jezik za upite *Transact SQL* (T-SQL), što znači da osim osnovnih i klasičnih (SELECT tipa) SQL upita dozvoljava i složenije stvari poput *if* naredni ili *while* petlji. SQL server je baza podataka koja je namenjena manjim i srednjim bazama [10].

### 3.6 Entity Framework

Entity Framework predstavlja *ORM Framework* otvorenog koda za .NET koje podržava Microsoft. Omogućava programerima da rade sa podacima koristeći objekte klase bez fokusiranja na osnovne tabele i kolone baze podataka u kojima se ti podaci čuvaju [11].

## 4. ARHITEKTURA SISTEMA

Aplikacija sistema je podeljena na nekoliko komponenti. Svaka komponenta ima neka svoja zaduženja i procese koje obavlja nezavisno od ostatka sistema i drugih komponenti. Arhitektura sistema i komunikacija između komponenti je prikazana na Slika 2.



Slika 2 - Arhitektura sistema

## 5. IMPLEMENTACIJA APLIKACIJE

### 5.1 SCADA

#### 5.1.1 Inicijalno pokretanje

Da bi se ostvarile visoke performanse SCADA komponente, potrebno je ovaj servis što više olakšati kad su u pitanju procesi koji se dešavaju u njemu. Želimo da SCADA servis ima što manje poslova koje treba da obavlja. Nakon prvog pokretanja SCADA servisa, potrebno je prethodno sačuvano stanje prekidača upisati u simulator. Pošto SCADA ne sadrži te vrednosti, ona mora da ih zatraži od servisa koji poseduje te vrednosti tj. od MES-a. Otvara se komunikacioni kanal prema MES-u i traži se trenutno stanje prekidača. Nakon prijema vrednosti, prvo se ažuriraju vrednosti u SCADA memoriji, a zatim se i ažurira stanje u simulatoru.

#### 5.1.2 Akvizicija podataka sa simulatora

Pošto se stanje prekidača u polju tj. simulatoru može konstantno menjati, mora se periodično proveravati njihovo stanje. SCADA periodično, koristeći MODBUS protokol, proziva simulator i „pita“ kakvo je trenutno stanje u polju. Od simulatora dobije informaciju o novom stanju prekidačke opreme. Po prijemu novog stanja primljena je informacija o stanju svakog prekidača u polju.

#### 5.1.3 Komandovanje

Kada je reč o komandovanju SCADA radi samo ono što joj je zadano. Tu ne postoji nikakva logika. Od MES dobija instrukcije i te instrukcije prosleđuje ka simulatoru. Te instrukcije predstavljaju otvaranje/zatvaranje prekidača.

### 5.2 Simulator

Za simulaciju sistema koristimo Easy Modbus Server Simulator, sa kojim vršimo komandovanje opreme u polju. Sve izmene nastale u simulatoru, šalju se na SCADA servis preko Modbus TCP protokola. Simulator iza sebe nema nikakvu logiku, njegov posao je da „simulira“ tj. samo vrši otvaranje/zatvaranje opreme u polju. On nema uvid o kakvoj je to opremi reč, kakve su specifikacije opreme, naziv, primena...

### 5.3 MES

#### 5.3.1 Inicijalno pokretanje

Nakon inicijalnog pokretanja MES servisa, pokreće se inicijalizacija modela tako što se čitaju podaci iz baze podataka i na osnovu podataka kreiraju se objekti koji se smeštaju u model. U sistemu objekti koji se mogu inicijalizovati su prekidači i alarmi.

#### 5.3.2 Obrada akvizicije

##### 5.3.2.1 Čuvanje stanja pristiglih vrednosti

Od SCADA servisa stiže informacija na kom ID-u prekidača je koje novo stanje. Za dobijeni ID se iz MES modela uzima konkretan objekat prekidača u kom se nalaze podaci potrebni za obradu. Nakon dobijanja konkretnog prekidača njegovo stanje se ažurira. Treba primetiti da je ovo samo u radnom modelu i da još nije završilo u istorijskoj bazi podataka.

##### 5.3.2.2 Upisivanje stanja u bazu podataka

Obradeni podaci se moraju čuvati u istorijskoj bazi iz razloga što se istorija koristi za:

- Inicijalizaciju MES servisa
- Kreiranje izveštaja

Zbog performansi podaci ne završavaju odmah u bazi podataka, nego se upisuju u liste. Količina podataka u jednoj listi zavisi od pristiglih promena. Kad se obrade sve pristigle promene, vrši se upis u istorijsku bazu podataka i liste se nakon toga očiste da bi se nove promene mogle primenjivati.

##### 5.3.2.3 Obaveštavanje klijenta o promenama

Odmah nakon obrade podataka, promene se „pakuju“ u format podataka poznat klijentu tj. u objekat **UIModelObject**. U taj objekat se pakuju svi afektovani prekidači, kao i generisani alarmi vezani za njih. Slanje je asinhrono.



## 5.4 Klijentska aplikacija

### 5.4.1 Inicijalno pokretanje

Nakon prvog pokretanja, klijentska aplikacija traži od MES-a svu postojeću opremu u sistemu sa njegovom trenutnom vrednošću. Što bi značilo da trebaju prekidači sa vrednostima da li je otvoren/zatvoren dati prekidač. Nakon prijema podataka, klijentska aplikacija vrši ažuriranje glavnog prozora. Prave se objekti u obliku dugmeta za svaki prekidač, gleda se koja mu je trenutna vrednost.

### 5.4.2 Komandovanje

Komandovanje je akcija koja prolazi kroz sve komponente sistema. Akcija počinje na klijentskoj aplikaciji klikanje miša na prekidač. Klikom na željeni prekidač šalje se na MES, id prekidača koji želimo da komandujemo. Na osnovu njegovog trenutnog stanja tj. da li je otvoren ili zatvoren pozivamo odgovarajuće funkcije. Zatim MES informacije prosleđuje na SCADA servis. SCADA zatim na osnovu id-a iz modela traži adresu prekidača i tu adresu zajedno sa komandom šalje na simulator.

### 5.4.3 Alarmi

Alarmi u implementaciji aplikacije predstavljaju odziv na događaje u sistemu. Pod tim podrazumevamo na svaku akciju komandovanja prekidača, bilo to sa klijentske aplikacije ili sa simulatora, se generiše novi alarm. Time želimo da obavestimo krajnjeg korisnika o promenama u sistemu. Izgled alarma može imati dva slučaja, kada je prekidač prešao u otvoreno kolo tj. kada je isključen i kada je u zatvorenom kolu tj. kada je uključen.

### 5.4.4 Izveštaji

Report ili izveštaj je dokument koji predstavlja informacije koje su organizovane u formatu za određenu svrhu. Iako se sažeci izveštaja mogu dostavljati usmeno, potpuni izveštaji su gotovo uvek u obliku pisanih dokumenata. Način na koji se izveštaji generišu jeste taj da korisnik preko klijentske aplikacije unese odgovarajuće parametre za generisanje izveštaja. Parametri se šalju na MES servis koji zatim na osnovu željenog izveštaja, izvlači iz baze podataka odgovarajuće podatke. Zatim te podatke „pakuje” u **ReportModel** objekat i vraća ih nazad klijentskoj aplikaciji. Kad ti podaci pristignu na klijentsku aplikaciju vrši se ispis na glavni prozor.

## 6. ZAKLJUČAK

Aplikacija koja je opisana i testirana u ovom radu predstavlja simulaciju komandovanja opreme u polju pomoću simulatora ili preko implementirane klijentske aplikacije, primenjujući principe i smernice ISA-95 standarda. Objasnjen je način rada aplikacije, kao i uloga svih komponenti i delova sistema.

Neke od prednosti korišćenja ovakvog standarda tokom implementacije neke aplikacije predstavlja **nezavisna implementacija svake komponente sistema**, gde svaka komponente sistema je implementirana nezavisno od ostalih komponenti. U principu, rad jedne komponente ne utiče na rad druge komponente. **Apstrakcija** predstavlja još jednu vrstu prednosti ovakvog sistema. Kada vršimo komandovanje nas, kao krajnjeg korisnika ne zanima cela logika iza te akcije. Nas samo zanima krajnji rezultat. Pomoću apstrakcije to je moguće.

Takođe uvek postoji prostora za napredak i usavršavanje što je upravo slučaj i sa ovim radom. Određeni segmenti aplikacije bi mogli biti rešeni na bolji i efikasniji način. Jedan od mogućih unapređenja ili izmena je da klijenta aplikacija bude urađena u nekoj drugoj tehnologiji koja nije WPF npr. Windows Form ili ASP.NET. Još jedna vrsta unapređenja aplikacije je mogla biti uvođenje opreme sa analognim signalima. Pod tim se podrazumeva uvođenje neke vrste brojača ili merila koja može da prati vreme rada prekidača i te vrednosti da ispisuje u simulator i na klijentsku aplikaciju.

## 7. LITERATURA

- [1] Bianca Scholten, *Road to Integration*, ISBN-13: 978-0979234385
- [2] TechTarget, *Definition*, ANSI/ISA-95, datum pristupa: 25/03/2021 <<https://searcher.techtarget.com/definition/ANSI-ISA-95>>
- [3] Siemens, *ISA 95 Framework & Layers*, datum pristupa: 26/03/2021 <<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/isa-95-framework-and-layers/53244>>
- [4] Intraratio, *3 Key Differences Between ERP and MES Systems*, datum pristupa: 26/03/2021 <<https://intraratio.com/post/key-differences-between-erp-and-mes>>
- [5] ISA-95, *Overview of advantages*, datum pristupa: 27/03/2021 <<https://isa-95.com/advantages>>
- [6] Guru99, *What is Microsoft .Net Framework?*, datum pristupa: 27/03/2021 <<https://www.guru99.com/net-framework.html>>
- [7] GeeksforGeeks, *Introduction to Visual Studio*, datum pristupa: 27/03/2021 <<https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-visual-studio>>
- [8] Jon Skeet, *C# in Depth, 3rd Edition*, ISBN-13: 978-1617291340
- [9] WPF Tutorial, *What is WPF?*, datum pristupa: 27/03/2021 <<https://www.wpf-tutorial.com/aboutwpf/what-is-wpf>>
- [10] Wikipedia, *Microsoft SQL Server*, datum pristupa: 28/03/2021 <[https://wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_SQL\\_Server](https://wikipedia.org/wiki/Microsoft_SQL_Server)>
- [11] Entity Framework Tutorial, *What is Entity Framework?*, datum pristupa: 28/03/2021 <<https://www.entityframeworktutorial.net/what-is-entityframework.aspx>>

### Kratka biografija:

**Nenad Zelenović** je rođen 01.04.1995. godine u Somboru. Osnovnu školu "Nikola Tesla" u Bačkom Brestovcu završio je 2010. godine. Završio je srednju ekonomsku školu u Somboru 2014. godine. Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu je upisao 2014. godine, smer Elektroenergetski Softverski Inženjering. 2019. godine završava osnovne studije i upisuje master akademske studije na Fakultetu Tehničkih Nauka, smer Primenjeno Softversko Inženjerstvo. Ispunio je sve obaveze i položio sve ispite predviđene studijskim programom.

**KONFIGURISANJE I TESTIRANJE DIFERENCIJALNE ZAŠTITE TRONAMOTAJNIH ENERGETSKIH TRANSFORMATORA****CONFIGURATION AND TESTING OF DIFFERENTIAL PROTECTION FOR THREE WINDING POWER TRANSFORMERS**

Nemanja Milovanović, Zoran Stojanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu su dati osnovni principi rada relejne zaštite. Navedene su osnovne zaštite koje se koriste za šticeenje energetskih transformatora i opisan princip diferencijalne zaštite. Zatim je detaljno objašnjena funkcija diferencijalne zaštite za korišćeni mikroprocesorski relej i odgovarajući softver. Praktičnim radom, ispitani su najbitniji aspekti diferencijalne zaštite releja pomoću testnog alata i izvršena analiza povratnih informacija iz releja i testnog alata.

**Ključne reči:** Relejna zaštita, Mikroprocesorski relej, Energetski transformator, Diferencijalna zaštita

**Abstract** – This document presents the basic principles of relay protection. The basic protection functions used in the protection of power transformers were listed and the principle of differential protection was described. The function of differential protection for the used microprocessor relay and corresponding software were explained in detail. By practical work, the most important aspects of differential protection were tested using a test set and analysis of results from the relay and test set were performed.

**Keywords:** Relay protection, Microprocessor relay, Power transformer, Differential protection

**1. UVOD**

Navedena tema master rada pripada oblasti relejne zaštite pod čijim pojmom se podrazumeva skup zaštitnih uređaja i postupaka za šticeenje elemenata i elektroenergetskog sistema u celini. Osnovni cilj primene relejne zaštite je najbrže moguće isključenje elemenata i/ili dela elektroenergetskog sistema sa kvarom uz očuvanje funkcionalnosti ostalog dela sistema.

Relejna zaštita predstavlja složen sistem, sastavljen od strujnih i naponskih transformatora, sekundarnih strujnih krugova između sekundara strujnih i naponskih transformatora i zaštitnih uređaja, samih uređaja relejne zaštite i prekidača koji prekidaju strujni krug u kvaru (prema nalogu releja). Ovaj složen sistem treba ispravno i neprekidno da funkcioniše da bi osigurao nesmetan i kontinualan rad elektroenergetskog sistema u celini i isporuku električne energije od proizvođača, preko prenosnog i distributivnog sistema do krajnjeg potrošača.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Zoran Stojanović, van. prof.

Istorijski gledano, postoje tri generacije zaštitnih releja:

- elektromehanički relej,
- statički relej,
- numerički relej.

Numerički releji bazirani su na primeni mikroprocesora i softvera koji zamenjuje osnovne principe delovanja relejne zaštite. Odlikuju se vrlo malom potrošnjom i velikom brzinom rada. U jednoj fizički samostalnoj jedinici poseduju više zaštitnih funkcija (više relejnih zaštita objedinjeno u jednoj jedinici) [1].

**2. ZAŠTITA TRANSFORMATORA**

Energetski transformator je sveprisutan element rasklopnih postrojenja, trafostanica i elektrana elektroenergetskog sistema na svim naponskim nivoima. On ima vitalnu funkciju u elektroenergetskom sistemu i predstavlja vrlo skup pojedinačni element. Stoga njegova efikasna zaštita od mogućih kvarova predstavlja važnu komponentu u celokupnom sistemu relejne zaštite elektroenergetskog sistema.

Izolacija energetskih transformatora u pogonu je izložena, osim pogonskog napona, delovanju privremenih, sklopnih i atmosferskih prenapona. Takođe je izložena procesu neprekidnog starenja, te mehaničkim naprezanjima do kojih dolazi usled dinamičkih sila u uslovima nastanka kratkih spojeva. Stoga u pogonu energetskih transformatora treba računati na mogućnost nastanka kvarova. Mogući kvarovi energetskog transformatora jesu:

- međufazni kratki spojevi u transformatoru ili na njegovim izvodima,
- kratki spojevi između zavoja iste faze,
- kratki spojevi sa zemljom namota transformatora ili njegovih izvoda.

U pogonu su najčešći preskoci na izvodima transformatora i spojevi među zavojima iste faze. Ovi kratki spojevi su uzrokovani veoma naglim prenaponskim udarima. Česti su takođe i preskoci ili proboji prema uzemljenim delovima energetskog transformatora. Kao zaštita od navedenih kvarova energetskih transformatora mogu se upotrebiti sledeće zaštite:

- diferencijalna zaštita,
- Buholc relej,
- zemljospojna zaštita,
- prekostrujna zaštita,
- distantna zaštita.

Osim navedenih kvarova, u pogonu se još javljaju i razna opasna/abnormalna stanja. To je u prvom redu preopterećenje transformatora do kojeg može doći usled ispada drugog transformatora ili vodova koji paralelno napajaju isto potrošačko područje.

Znatno opasnije su struje kratkog spoja koje teku kroz energetske transformator usled kvarova u napajanoj mreži (nije kvar u samom transformatoru). Kod ovih opasnih stanja zahteva se da zaštita energetskog transformatora (ali ne diferencijalna) signalizira kvar i isključi energetski transformator pre nego što dođe do njegovog kvara ili do znatnog sniženja trajanja života izolacije transformatora. Trajanje izolacije usko je povezano sa radnom temperaturom kojoj je izložena pri eksploataciji transformatora i obrnuto je proporcionalna s povećanjem radne temperature. Stoga je potrebno ne izlagati izolaciju transformatora povećanim toplotnim naprezanjima.

Upravo ovakva toplotna naprezanja izolacije transformatora posledica su velikih struja kvara (Džulovi gubici u namotajima) koje prolaze kroz transformator pri napajanju kvara na nekom od njegovih izvoda u napajanoj mreži [1].

Za zaštitu od nedozvoljenih stanja preopterećenja energetskog transformatora najčešće se primenjuje termička zaštita. Za zaštitu energetskog transformatora od struja spoljašnjih kratkih spojeva (kvarovi izvan, ali u blizini energetskog transformatora) najčešće se primenjuje:

- prekostrujna zaštita (sa strujno nezavisnom vremenskom karakteristikom),
- distantna zaštita.

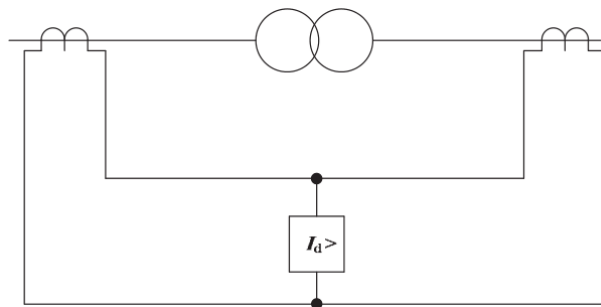
Treba naglasiti da je diferencijalna zaštita ujedno i osnovna relejna zaštita energetskog transformatora dok su ostale navedene zaštite rezervne i/ili dopunske zaštite. Prilikom primene diferencijalne zaštite energetskih transformatora, između ostalog, treba voditi računa i o sledećim osobinama:

- prenosnom odnosu, spoju namotaja i načinu uzemljenja,
- struji magnećenja energetskog transformatora,
- različitim naponskim nivoima primarne i sekundarne (i tercijarne) strane energetskog transformatora, zbog čega se moraju koristiti strujni transformatori različitih prenosnih odnosa i karakteristika,
- faznom pomeraju između struja i napona između primarne i sekundarne (i tercijarne) strane energetskih transformatora grupe spoja zvezda – trougao (tj. treba voditi računa o vektorskoj grupi transformatora),
- regulaciji napona na visokonaponskom namotaju energetskog transformatora,
- faznim pomerajima i regulaciji napona kod regulacionih transformatora.

### 2.1. Diferencijalna zaštita

Diferencijalni sistem se pravi tako da pokrije čitav transformator. To je moguće izvršiti iz razloga veoma visoke efikasnosti rada transformatora i jednakosti odnosa struje i navojaka ( $N \cdot I$ ) na primarnom i sekundarnom namotaju. Strujni transformatori na primarnoj i sekundarnoj strani energetskog transformatora povezani su tako da se napravi sistem cirkulacione struje. Ti strujni transformatori ujedno određuju zonu diferencijalne zaštite [2].

Na slici 1 prikazan je ovaj princip.



Slika 1. Princip transformatorske diferencijalne zaštite

### 3. RELEJ ABB RET 670

Relaj ABB RET 670 obezbeđuje brzu i selektivnu zaštitu, praćenje i upravljanje za dvonamotajne i tronamotajne transformatore, autotransformatore i otočne prigušnice. RET 670 ima vrlo malo zahteva za strujne transformatore, međutransformatori nisu potrebni. Za diferencijalnu zaštitu je obezbeđena blokada na drugi harmonik i blokada na prepoznavanje talasnog oblika da bi se izbegla prorada usled udarne struje i blokada na peti harmonik da bi se izbegla prorada usled prepobuđenosti. Izgled releja dat je na slici 2.



Slika 2. Izgled releja RET 670 novije serije

Konfigurisanje releja, podešavanje zaštitnih funkcija, nadzor i upravljanje uređaja vrši se preko softvera PCM600 u okviru koga imamo veoma širok opseg funkcija i podešavanja. Za nadzor i podešavanje releja može se koristiti i LHMI (Local Human Machine Interface) uređaja. LHMI obuhvata ekran, led sijalice koje služe kao indikatori različitih stanja, portove za komunikaciju i određene tastere.

#### 3.1. Transformatorska diferencijalna zaštita

##### T2WPDIF i T3WPDIF

Funkcije transformatorske diferencijalne zaštite, dvonamotajne (T2WPDIF) i tronamotajne (T3WPDIF) obezbeđene su interno sa korekcijom odnosa strujnih transformatora, kompenzacijom vektorske grupe i eliminacijom nulte komponente struje, u softveru.

Mogućnost podešavanja aplikacije pokriva primenu diferencijalne zaštite na sve tipove energetskih transformatora i autotransformatora sa ili bez regulacione sklopke, kao i za odvodnike prenapona ili lokalne izvode u okviru trafostanice. Prilagodiva karakteristika stabilizacije struje je sadržana u zaštiti za slučaj velikih kvarova van štićene zone. Uključujući poziciju regulacione sklopke, pobuda diferencijalne zaštite može se podesiti na optimalnu osetljivost čime se pokrivaju kvarovi unutar zone i kada su



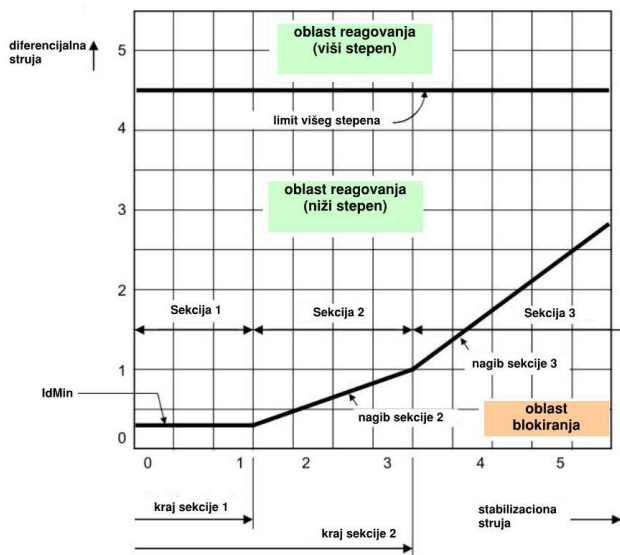
oni niskog nivoa. Stabilizacija zaštite postoji i za slučaj udarnih struja, odnosno za prepobuđenost. Prilagodiva stabilizacija je uključena i za udarne struje usled poremećaja u sistemu i usled zasićenosti strujnih transformatora kod spoljašnjih kvarova. Viši stepen diferencijalne zaštite postoji u slučaju velikih unutrašnjih kvarova kako bi zaštita veoma brzo odradila. Karakteristika osetljive diferencijalne zaštite, zasnovana na teoriji simetričnih komponenti, nudi najbolju moguću pokrivenost u slučaju međuzavojnih kvarova kod energetskog transformatora [3].

### 3.2. Niži i viši stepen diferencijalne zaštite

Diferencijalna zaštita energetskog transformatora koristi dva limita sa kojima se trenutne vrednosti 3 diferencijalne struje prvog harmonika porede u svakom izvršenju funkcije.

Viši stepen (ne zavisi od stabilizacione struje, trenutni) diferencijalne zaštite se koristi za vrlo velike diferencijalne struje koji, bez sumnje, znači da je kvar unutar štice zone. Ovaj podesivi limit je konstantan (nije proporcijalan stabilizacionoj struji). Na njega ne utiču harmonijske, ni bilo koje druge interne blokade, tako da je njemu dozvoljeno da odmah da komandu za prorađivanje zaštite.

Niži stepen (zavisan od stabilizacione struje) diferencijalne zaštite poredi proračunate diferencijalne struje i stabilizacione struje tako što ih postavlja na diferencijalno-stabilizacionu karakteristiku. Praktično, amplitude svake pojedinačne diferencijalne struje prvog harmonika porede se sa prilagodljivim limitom. Ovaj limit je prilagodljiv zato što je zavisao od amplitude stabilizacione struje. Ovaj limit se zove diferencijalno-stabilizaciona karakteristika (kriva). Karakteristika ima u principu 3 sekcije sa različitim proporcionalnošću prorađne (diferencijalne) struje u odnosu na stabilizacionu struju i prikazana je na slici 3.



Slika 3. Opis karakteristika nižeg i višeg stepena zaštite

Pored nižeg i višeg stepena diferencijalne zaštite, u radu su opisane i ostale podfunkcije diferencijalne zaštite ovog mikroprocesorskog releja, a to su: automatska kompenzacija za poziciju regulacione sklopke, alarm diferencijalne struje, eliminacija nulte komponente, unutrašnji / spoljašnji diskriminator kvara, viši stepen diferencijalne

zaštite inverzne komponente struja, međuzavojna zaštita bazirana na osetljivoj zaštiti inverzne komponente, harmonijska blokada, blokada talasnog oblika, unakrsno blokiranje između faza, uključanje transformatora pri kvaru i detekcija otvorenog strujnog transformatora.

## 4. TESTIRANJE RADA RELEJA I NJEGOVIH ZAŠTITA

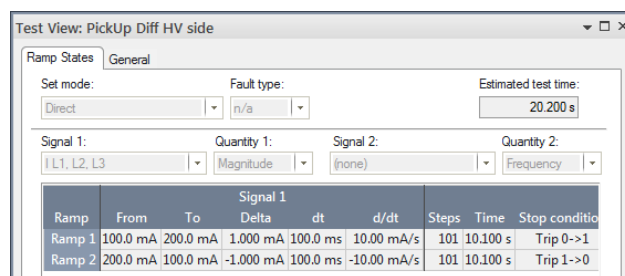
Ožičenje releja, pravljenje neophodne konfiguracije u softveru PCM600 (kroz alate *Application Configuration*, *Parameter Setting*, *Signal Matrix*) i ispitivanje njegovog rada izvršeno je u firmi „Albo Energy doo“ u Novom Sadu.

Testiranje je izvršeno pomoću trofazne ispitne kutije, proizvođača Omicron, marke CMC356, koja ima mogućnost davanja istovremeno 6 struja različitih amplituda i faznih stavova. Takođe, kutija ima 10 digitalnih ulaza koji se koriste da bi primili digitalne informacije, najčešće od uređaja koji se testira.

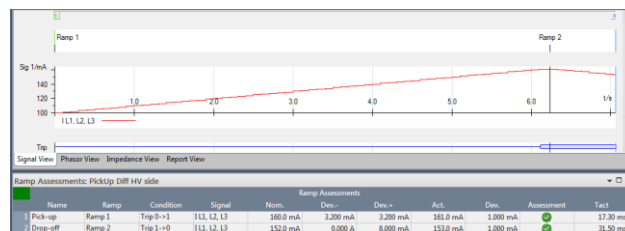
### 4.1. Test pobude diferencijalne zaštite (pick-up)

Ovim testom otkrivamo kolika je minimalna struja potrebna da bi odradila diferencijalna zaštita ako se struja dovodi na samo jedan namotaj transformatora, dok je na ostalim namotajima struja 0.

Test je prikazan na slikama 4 i 5 gde je korišćen *ramping module* u softveru *Test Universe* koji je pogodan za testiranje u sitnim koracima, u ovom slučaju u koracima od 1 mA. Na drugoj slici su upisane očekivane vrednosti, dopuštena odstupanja i dobijene vrednosti.



Slika 4. Ramping modul za trofazni pick-up test sa HV strane



Slika 5. Rezultat trofaznog pick-up testa sa HV strane

Pre samog testa, mora biti izvršen proračun očekivanih vrednosti za sve testove koji se rade da bi kasnije bilo moguće proveriti da li ti rezultati zadovoljavaju kriterijume sa odstupanjima uzetim u obzir koja propisuje proizvođač opreme, u ovom slučaju releja.

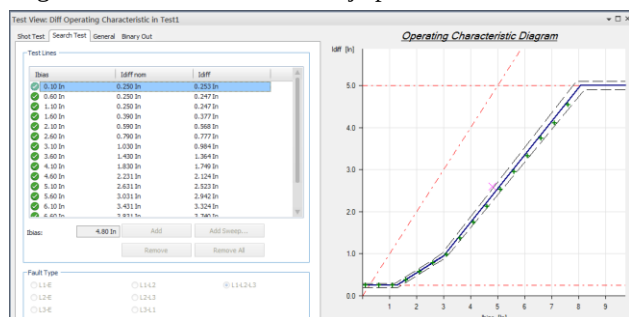
### 4.2. Automatizovani testovi rađeni u OCC-u

Kod testiranja u softveru *Test Universe*, postoji mogućnost da ručno testiramo sve odlike releja i njegovih zaštita kao i da to testiranje automatizujemo. Kada je u pitanju automatizovano testiranje koje je ovde urađeno, koristi se *OMICRON Control Center (OCC)*. *Control Center* testira

više funkcija objekta za testiranje sa jednim skupom testova definisanim u *Control Center* document (.occ document). U njemu se izračunavaju parametri pomoću kojih se izvršava test kao i očekivani ishodi. Zatim se ti ishodi (izlazi objekta koji se testira) mere, procenjuju i na kraju dokumentuju tako da se dobija jedan izveštaj na kome se nalaze svi automatski urađeni testovi i taj izveštaj se dalje može štampati i koristiti.

#### 4.3. Test određivanja diferencijalno – stabilizacione karakteristike

Test se vrši kako bi se otkrilo da li transformatorska diferencijalna zaštita ovog releja radi onako kako je zamišljeno i da li podešenja zaštite u softveru odgovaraju stvarnom radu releja, odnosno, da bi otkrili da li će zaštita odreagovati kada je to potrebno i hoće li ostati stabilna i ne odreagovati kada ne postoji kvar u štićenju zoni. Granica za proradu zaštite je zapravo diferencijalno-stabilizaciona kriva, pa je ovim testom potrebno odrediti tu granicu, odnosno krivu. Test je prikazan na slici 6.

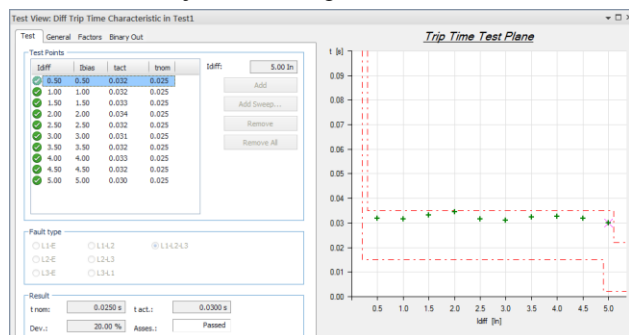


Slika 6. Traženje diferencijalno-stabilizacione krive

#### 4.4. Test određivanja vremena delovanja zaštite

Ovaj test se vrši kako bi se odredilo da li će relej odreagovati za propisano vreme prilikom kvara, odnosno da li će poslati komandu isključenja za vreme koje je propisao proizvođač.

Na slici 7 prikazan je rezultat ovog testa. Za ovaj, kao i za ostale testove, moguće je izabrati tip kvara za koji će se vršiti test. Ovde je izabran tropolni kvar.



Slika 7. Test vremena delovanja zaštite

Kod ovakvih automatizovanih testova, u levom delu testa u prvoj koloni nalaze se izabrane vrednosti pri kojima se vrši test, u drugoj koloni očekivane vrednosti i dobijene vrednosti u trećoj. U desnom delu slike i testa grafički su prikazane očekivane i dobijene vrednosti.

Kao ishod testa dobija se zelena kvačica ako je test uspešan. Ako ishod testa ne zadovoljava očekivanja, dobija se crveni znak X.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je konfigurisanje i testiranje mikroprocesorskog releja ABB RET670 za zaštitu trofaznih energetskih transformatora, odnosno njegove funkcije diferencijalne zaštite.

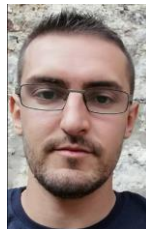
Za ova testiranja korišćen je odgovarajući testni alat koji je predstavljao trofazni izvor naizmenične struje i koji ima mogućnost generisanja struja različitih amplituda i faznih stavova u različitim režimima rada. Neki testovi su odrađeni na više različitih načina da bi se pokazalo da različiti načini testiranja treba da daju istovetne rezultate. Automatizovanim načinom testiranja se dosta jednostavnije dobijaju neophodni krajnji rezultati, dok se ručnim i postupnim testiranjem bolje razume problematika sistema i način rada zaštite.

S obzirom na to da su sve dobijene vrednosti u referentnom opsegu i da su svi testovi zadovoljili odgovarajuće kriterijume, izvodi se zaključak da ovaj relej radi apsolutno ispravno i da bi se u realnom pogonu ponašao onako kako se to od njega i zahteva (pouzdanje i sigurno). Na osnovu ovoga može se zaključiti da će ovako konfigurisan relej ispravno štititi transformator u pogonu.

## 6. LITERATURA

- [1] Petar Sarajčev, Robert Kosor, „Zaštita u elektroenergetskom sustavu“, Sveučilište u Splitu, 2012.
- [2] ALSTOM, „Network protection & automation guide“, edition May 2011.
- [3] ABB, „Transformer protection RET670 - Technical reference manual“, version 1.1.

### Kratka biografija:



**Nemanja Milovanović** rođen je u Loznici 1990. godine. 2011. godine upisao je Fakultet tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije. Na studijama se opredelio za smer Elektroenergetika – Energetska elektronika i električne mašine i diplomirao 2017. godine. Master studije upisao je 2017. godine.



**Zoran N. Stojanović** rođen je 22.07.1979. godine u Požarevcu. Doktorsku disertaciju pod nazivom "Usmereni releji bazirani na digitalnom faznom komparatoru" odbranio je 11.06.2012. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Oblasti naučnoistraživačkog rada kojima se do sada bavio su relejna zaštita, razvodna postrojenja i monitoring i dijagnostika visokonaponskih postrojenja.

**RAZVOJ VEKTORSKI UPRAVLJANOG POGONA ASINHRONOG MOTORA  
PRIMENOM MATLAB/SIMULINK AUTOKODING PROCEDURA****INDUCTION MACHINE DRIVE IFOC ALGORITHM DEVELOPMENT USING  
MATLAB/SIMULINK AUTOCODING PROCEDURES**

Zoran Davidović, Dragan Milićević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu prikazana je mogućnost korišćenja naprednih softverskih alata primenljivih u oblasti elektromotornih pogona. Praktična verifikacija je izvršena na primeru vektorskog upravljanja i na razvijenom prototipu trofaznog invertora. Model je razvijen korišćenjem MATLAB/Simulink paketa tako da je istovremeno postojala mogućnost i softverskih analiza koje su korisne u fazi projektovanja i testiranja sistema uz zadržavanje jednostavnog prelaska na stvarni sistem korišćenjem autokoding podrške. Kao osnovni doprinos rada se mogu prepoznati detaljni eksperimentalni rezultati kojim je dokazana ispravnost usvojenog pristupa u razvoju kontrole.

**Ključne reči:** vektorsko upravljanje, asinhroni motor, DSP, autokoding.

**Abstract** – The use of advanced software tools in the field of electric motor drives is presented in this paper. Verification is performed on the example of vector control and on the developed prototype of three-phase inverter. The model is developed using Matlab Simulink software in the aspect that at the same time there is possibility of software analysis that is convenient in the design and testing phase of the system, while maintaining a simple transition to the actual system using autocoding support. Detailed experimental results which prove the credibility of the adopted approach in the development of control, can be recognized as a primary contribution of this paper.

**Keywords:** Vector control, Asynchronous motor, DSP, autocoding.

**1. UVOD**

Upotreba asinhronih motora napajanih iz uređaja energetske elektronike i kontrolisanih po principima vektorskog upravljanja je u pogonima srednjih i niskih performansi postao industrijski standard. Razlozi za ovo su višestruki a pre svega se mogu prepoznati kao posledica prednosti same asinhronne mašine, ali i pitanja dobre efikasnosti, te pitanja dugogodišnjeg usavršavanja [1,2].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Milićević, vanr. prof.

Pomoću vektorskog upravljanja moguće je razdvojiti upravljanje momentom i fluksom asinhronog motora i na ovaj način učiti dinamičke karakteristike asinhronog motora značajno boljim i po performansama ih približiti karakteristikama motora jednosmerne struje.

Sam koncept vektorskog upravljanja može da se realizuje samo na brzim mikroprocesorima ili digitalnih signalnih procesora (DSP) [3,4]. Potrebno je obezbediti i napajanje sa strujno regulisanim naponskim invertorom kojim će se regulisati statorsche struje koje će kasnije biti zadužene za kontrolu pogonskog momenta, a posredno i kontrolu brzine odnosno pozicije. Klasične metode programiranje pomenutih mikroprocesora odnosno DSP-a podrazumevaju osmišljavanje koda korišćenjem programskih jezika po tačno određenoj semantici i sintaksi. Najčešće su u upotrebi jezici C ili C++.

Iako je programiranje kontrolnih sistema korišćenjem programskih jezika danas najčešće primenjivana mogućnost, povećanjem procesorske snage kontrolnih sistema, danas se sve češće u upotrebi nalaze i naprednije programske strukture često bazirane na funkcionalnim ili blok dijagramima. Jedan od takvih načina programiranja je i autokoding procedura koji nudi MATLAB/Simulink softversko rešenje [5].

Realizacija vektorskog upravljanja trofaznim kaveznim asinhronim motorom je krajnji cilj izlaganja koje se ovde obrazlaže. Kontrolni algoritam je formiran korišćenjem MATLAB/Simulink softverskog rešenja, a potom je autokoding procesom „spušan“ u kontrolni sistem baziran na TMS320F28335 digitalni signalni procesor proizvođača Texas Instruments

**2. STRUKTURA MODELA VEKTORSKOG  
UPRAVLJANJA**

Realizovani algoritam vektorskog upravljanja koji je korišćen u radu je klasičan. U nastavku će samo ukratko biti opisan i to posredno kroz opis blok dijagrama realizovanog u MATLAB/Simulink softveru. Algoritam vektorskog upravljanja za cilj ima aktivnu kontrolu momenta na vratilu napajane mašine jer se uspešnom kontrolom momenta mogu kontrolisati i ostale veličine koje se kao kontrolisane najčešće i koriste, a to su pre svega brzine, a potom i pozicija.

Ideja vektorskog upravljanja je raspredanje upravljanja komponentom statorsche struje koja je zadužena za ostvarivanje pobuđenosti mašine – Id komponenta, od komponente struje koja je zadužena za ostvarivanje i



kontrolu momenta mašine –  $I_q$  komponenta. Na ovaj način se kontrola momenta asinhrona mašina svodi na kontrolu koja se ima za nezavisno pobuđenu mašinu jednosmerne struje.

## 2.1. Osnovna struktura modela vektorskog upravljanja

Osnovna struktura modela koji je korišćen za realizaciju vektorskog upravljanja, a kasnije i prilikom izvršavanja procedure autokodiranja, je prikazana na slici 1. Na slici su prikazana tri podbloka koji predstavljaju glavne delove ovog modela, neophodni za ostvarivanje ovog načina upravljanja. Blok pod imenom „PWM ISR” predstavlja deo modela u kome se nalaze glavni delovi potrebni za ostvarivanje vektorskog upravljanja. Pod pojmom „glavni delovi” podrazumevaju se „IFOC” blok, regulatori za obe struje (oba regulatora se sastoje od proporcionalnog i integralnog dejstva), te blokovi pomoću kojih se vrše odgovarajuće transformacije.

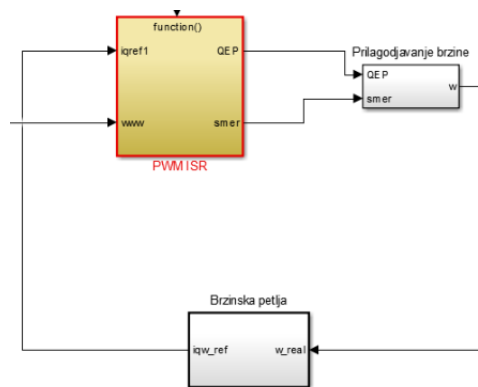
Podblok „Prilagođavanje brzine” služi kao što mu i ime kaže za prilagođavanje signala brzine odgovarajućoj petlji u kojoj se taj signal koristi. Blok radi sa dva signala koji se dobijaju iz prethodno pomenutog glavnog podbloka sa slike 1. Ovi signali se uzimaju iz bloka „eQEP” koji služi za povezivanje enkodera i rad sa signalima koje enkoder može da pruži. Sam podblok sadrži i filter prvog reda pomoću kojeg se filtrira signal na samom izlasku iz bloka. Upotrebom filtera smanjuje se propusni opseg modela, odnosno utiče se na brzinu odziva samog modela pa se preporučuje da se upotreba istog izbegava kada je god to moguće.

Poslednji podblok na slici 1. je „Brzinska petlja” u kom se vrši regulacija brzine mašine, ali i zadaje željena vrednost brzine obrtanja motora. Pomenuta željena vrednost brzine obrtanja motora se upoređuje sa stvarnom brzinom motora, a potom se razlika ova dva signala dovodi u „PI” regulator brzine. Vrednost signala na izlazu regulatora se limitira na vrednost koje odgovaraju motoru sa kojim se upravlja. Ovaj blok generiše  $I_q$  struju kojom se uz  $I_d$  struju koja je postavljena na reprezentativne pobude mašine generiše obrtni moment potreban za kontrolu i održavanje željene brzine obrtanja. Postaje jasno da je mašina, u ovom slučaju kontrolisana u brzinskom režimu rada. Signal na izlazu ovog bloka se dalje šalje u blok „PWM ISR”.

## 2.2. Struktura podbloka „PWM ISR”

Glavni i najbitniji deo modela se nalazi u podbloku „PWM ISR” čija je struktura prikazana na slici 2. Blok se izvršava u odgovarajućim ekvidistantnim vremenskim intervalima definisanim prekidačkom frekvencijom impulsno širinske modulacije (eng. PWM- Pulse Width Modulation).

Struje napajane mašine se nakon merenja LEM strujnim sondama dodatno prilagođavaju, skaliraju i koriguju spram ustanovljenog ofseta. Signali struja se zatim odgovarajućim transformacijama transformišu u dq domen u kojem bivaju svedena na svoja dva jednosmerna reprezenta, već pominjane  $I_d$  i  $I_q$  komponente.

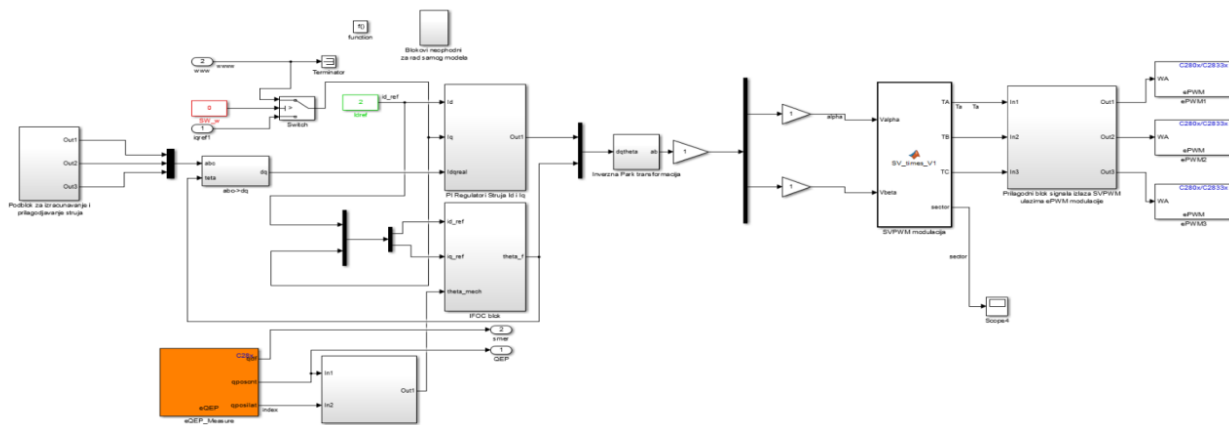


Slika 1 Osnovna struktura modela vektorskog upravljanja.

Regulacija struja se ostvaruje klasičnim PI regulatorima i sastoje se od proporcionalnog i integralnog dejstva i dela koji sprečava efekat „namotavanja” regulatora (eng. anti wind-up). Problem namotavanja se rešava jednostavnom logikom ostvarenom u modelu koja prepoznaje rad regulatora u limitu pri čemu isključuje integralno dejstvo kako bi sprečilo namotavanje. Već je pomenuto da se strujom  $I_d$  reguliše fluks motora, a kako je izabrano da se vektorsko upravljanje realizuje samo u prvoj zoni regulacije vrednost  $I_d$  struje se drži na konstantnoj, nominalnoj vrednosti koja obezbeđuje nominalnu pobudu kontrolisane mašine. Dakle, struja  $I_d$  se zadaje preko „Constant” bloka. Za razliku od nje struja  $I_q$  se dobija iz brzinske petlje na izlazu samog regulatora brzine što je informacija koja kazuje da je primenjen tzv. princip kaskadne kontrole. Ova vrednost struje definiše moment koji ostvaruje motor kojim se upravlja, a samim tim pomoću nje se ukoliko se vrednost  $I_d$  struje drži na konstantnoj vrednosti relativno lako može kontrolisati brzina motora.

Kako bi se ostvarila vektorska kontrola i kako bi se moglo upravljati fluksom motora i momentom koji motor razvija odvojeno potrebno je vektor struje postaviti u tačno određen položaj. Potrebno je pronaći tačan položaj rotorskog fluksa motora. Do te informacije se može doći na dva načina: direktno i indirektno. Model koji se ovde pojašnjava ima implementiran indirektan način (IFOC - eng. Indirect Field Oriented Control). Blok „IFOC blok” može se smatrati „srcem” modela jer on daje informaciju koja omogućava da se fluksom i momentom motora upravlja odvojeno odnosno raspregnuto. Blok koristi signale željene komponente struje i informaciju o stvarnoj poziciji vratila motora koja se dobija iz „eQEP” bloka. Potreban parametar za uspešnu realizaciju je vremenska konstanta rotora „Tr” čija vrednost je upisana u skripti i koja mora biti što preciznije izračunata odnosno izmerena (naravno na mašini koja se koristi u eksperimentu ili u svrhu simulacija) radi uspešnog rada modela.

Na osnovu informacija o vremenskoj konstanti i željenim strujama vrši se procena učestanosti klizanja i na osnovu nje se vrši proračun novog ugla klizanja. Dobijena vrednost ugla klizanja se sabira sa uglom rotora i dobija se vrednost ugla potrebna za pozicioniranje vektora struje. Informacija o ovom uglu se šalje u blokove u kojima se vrši Parkova, kao i inverzna Parkova transformacija.



Slika 2. Struktura podbloka „PWM ISR“.

Vrednosti signala koje se dobijaju na izlazu iz podbloka u kojem se nalaze regulatori struje, a koji predstavljaju potrebne vrednosti  $I_d$  i  $I_q$  struje potrebne da se ostvari željeni režim rada se dalje transformišu inverznom Parkovom transformacijom kako bi se dobile vrednosti upravljačkih signala odnosno faktora ispunje grana invertora koji napaja mašinu.

Pre uvođenja u blok „ePWM“ upravljački signali se dodatno skaliraju kako bi bili prilagođeni vrednostima koje zahteva konkretan PWM modul.

### 3. EKSPERIMENT

#### 3.1 Ekperimentalna postavka

Za realizaciju eksperimenta je korišćena postavka prikazana na slici 3.

Ekperimentalna postavka je prototip invertora koji je realizovan na Katedri za energetsku elektroniku i pretvarače. Sastoji se od trofaznog IGBT invertora namenjenog za napone do 1200 V i struje do 25 A. U slučaju ovog eksperimenta inverter je napajan iz jednokvadrantnog stabilizovanog izvora jednosmernog napona 116 V i maksimalne izlazne struje 3 A.

Algoritam kontrole koji je razvijen u Matlab/Simulink okruženju „spušan“ je autokoding procedurom u razvojni sistem baziran na TMS320F28335 digitalnom signalnom procesoru proizvođača Texas Instruments.



Slika 3. Ekperimentalna postavka

#### 3.2 Rezultati

U nastavku rada će biti dati rezultati sprovedenih ogleda. Svi rezultati se odnose na situaciju koja je usledila nakon usklađivanja svih neophodnih parametara vektorskog upravljanja počevši od usklađivanja merenja struja, merenja brzine, preko merenja parametara vremenske konstante  $T_r$ , kao i samih regulatora, kako strujnih tako i brzinskih.

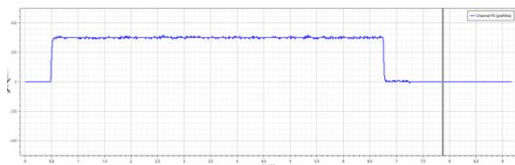
Prikazivanje će započeti odzivom mašine na zadatu referencu od 300 obr/min. Ovaj slučaj prikazan je na slici 4. Uvidom u sliku 4 primećuje se da se na vratilu vektorski upravljane mašine brzina uspostavlja gotovo trenutno (vreme je manje 0,05 s), da nema preskoka što govori o dobroj podešenosti regulatora i opštoj ispravnosti algoritma kontrole. U signalu brzine se primećuje šum što je posledica izostavljanja filtera na ovom signalu. Upravo ovim se postigao ovako veliki propusni opseg sistema. Prilikom vraćanja referentne vrednosti na nulu, odziv je takođe gotovo momentalan i nulta brzina se postiže istom brzinom kao i prilikom zaleta motora. Zaključeno je i to da je šum koji se javlja u signalu brzine direktna posledica male rezolucije korišćenog enkodera.

Kao dokaz raspregnutog upravljanja, slikom 5 se daje prikaz promene  $I_d$  i  $I_q$  komponente za razmatrani slučaj. Vidljivo je da ne postoji nikakav uticaj jedne komponente na drugu. Čak i u trenucima kada dolazi do nagle promene  $I_q$  komponente kao reakciju na izmenu vrednosti koju diktira brzinski regulator,  $I_d$  komponenta ostaje nepromenjena. Kada je referentna brzina na vrednosti 0 obr/min,  $q$  komponenta struje je bliska nula, dok  $d$  komponenta je i dalje na istoj vrednosti potrebnoj za održavanje nominalnog fluksa motora.

Ukoliko bi se vratilo pomerilo iz ravnotežnog položaja pri nultoj brzini za relativno mali ugao primetilo bi se da će kontrola, nakon prestanka opterećenja, vratiti vratilo u početni položaj.

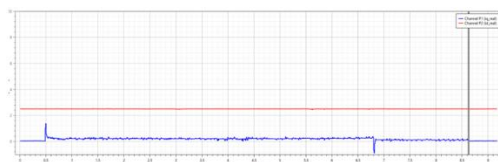
Ovo se javlja kao posledica integralnog dejstva brzinskog regulatora. Naime kako je referentna brzina na nultoj vrednosti, a opterećenjem vratila se postiže vrednost koja nije nula, signal greške sa kojim radi regulator brzine, a koji je razlika ova dva signala više nije nula, pa integralno dejstvo regulatora počinje sabirati grešku i kada se

prestane delovati silom na vratilo zbog greške koja je nagomilana do tog momenta vratilo se obrće u suprotnom smeru dok se sabrana vrednost u integralnom dejstvu ne oduzme. Ovaj efekat je moguć u opsegu koji dozvoljava limiter na izlazu regulatora.



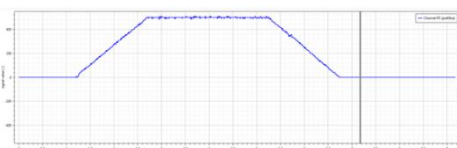
Slika 4 Prikaz brzine prilikom zaleta i zaustavljanja.

Sa slike 5 je takođe vidljiva izražena promena struje  $I_q$  u trenutku promene referentne vrednosti brzine. U obliku struje je primetan značajan impuls kao rezultat rada regulatora ali i podešenih limita, kao i mogućnosti koje pruža izvor i inverter. Kada nenulta vrednost reference brzine iščezne, struja  $I_q$  pada na vrednost dosta blisku nuli usled činjenice da sam motor nije opterećen u vršenom ogledu. Prilikom zaustavljanja javlja se negativan impuls ove struje i nakon toga vrednost ove struje će postati bliska nuli.



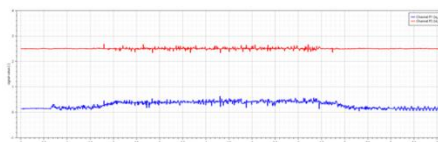
Slika 5 Izgled  $I_d$  i  $I_q$  komponente struje prilikom zaleta i zaustavljanja motora.

U narednom eksperimentu je izvršeno testiranje realnije situacije u kojoj kontrolni sistem zadaje željenu referentnu vrednost brzine po rampi, a ne trenutno. Ovim je ispitana i ispravnost rada bloka „SOFT START”. Podešavanjem parametara u samom bloku moguće je ostvariti porast brzine po rampi određenog nagiba. Takav zalet je prikazan na slici 6. Na grafiku se vidi da se željena brzina dostiže za 1.4 s. Zaustavljanje se takođe izvršava po rampi koja ima isti nagib kao i ona koja se ostvaruje prilikom zaleta.



Slika 6 Zalet i zaustavljanje motora po rampi.

Kao i u prethodnom slučaju tako i ovde  $I_d$  komponenta struje ne menja svoju vrednost. Za razliku od nje komponenta struje  $I_q$  se menja tokom procesa zaletanja i zaustavljanja. Grafik na slici 7 prikazuje ove dve struje i na njemu se jasno vidi promena  $I_q$  struje. Može se uočiti lagani rast  $I_q$  struje prilikom samog zaleta, a kada se zalet završi ova struja dobija vrednost koja je potrebna da se razvije momenat koji će savladati gubitke u motoru. Prilikom zaustavljanja motora primećuje se takođe smanjenje struje  $I_q$ . Smanjivanjem ove struje opada i razvijeni momenat i samim tim i brzina motora opada.



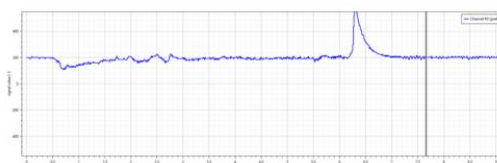
Slika 7 Prikaz  $I_d$  i  $I_q$  struje prilikom zaleta i zaustavljanja po rampi.

Ukoliko se motoru zada brzina obrtanja od 200 obr/min i zatim se na vratilo motora počne delovati silom određenog intenziteta primeće se kako regulacija implementirana u model pokušava da održi brzinu na zadatoj vrednosti. Vrednost struje  $I_q$  će porasti kako bi porastao momenat koji razvija motor i kako bi isti bio u mogućnosti da savlada opterećenje koje mu je nametnuto i pri tome održi zadatu brzinu. Slika 8 prikazuje brzinu prilikom opterećivanja motora i nakon prestanka delovanja opterećenja na motor. Opterećenje na samom motoru se pojavljuje u trenutku kada se primećuje propad u brzini.

Regulacija uočava tu promenu tako što signal greške više nije nula. Reakcija sistema upravljanja je takva da se vrednost  $I_q$  komponente struje povećava kako bi se nadomestio propad brzine. Sa svakom promenom opterećenja koja se pojavljuje na vratilu desiće se i relativna promena brzine koju će regulator nastojati da kompenzuje odnosno da zadrži jednakost stvarne i zadate brzine.

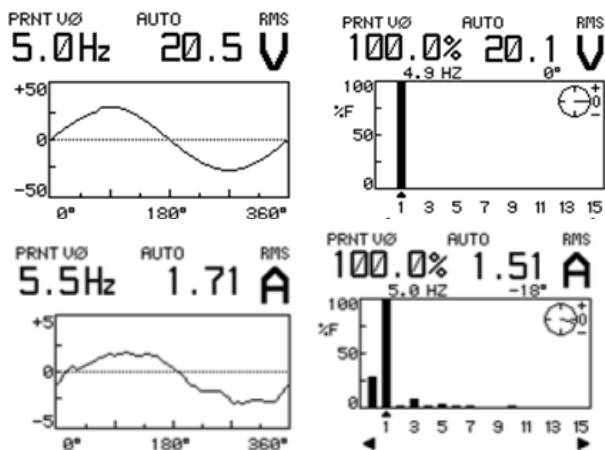
Kada se na vratilo deluje konstantnim opterećenjem, što se dešava na grafiku posle treće sekunde brzina je konstantna i ima željenu vrednost. Motor se u jednom trenutku naglo rasterećuje i kao posledica takvog dejstva, u prvom trenutku brzina naglo raste. Sada regulator brzine radi sa negativnom greškom i na svom izlazu će dati vrednost  $I_q$  komponente struje koja je manja od one koja se trenutno razvija.

Motor će takođe naglo usporiti i prilagoditi brzinu onoj koja se želi. Ovaj grafik jasno pokazuje da je regulacija optimalno podešena.



Slika 8 Prikaz brzine prilikom opterećenja motora.

Slika 9 prikazuje izgled napona i struje kao i njihov harmonijski spektar u trenutku kada se mašina obrtala približno desetinom nazivne brzine. Primećuje se da je napon čak i na ovako niskim frekvencijama sinusnog oblika, dok harmonijski spektar ne očitava postojanje niti jednog višeg harmonika. Kod signala struje se primećuje postojanje viših harmonika što se delimično objašnjava neusklađenošću strujnog opsega sonde korišćenog uređaja i veličine struje koje su merene.



Slika 9 Izgled napona i struje i njihov harmonijski spektar pri malim frekvencijama.

#### 4. ZAKLJUČAK

Rad prikazuje mogućnosti korišćenja naprednih sistema kontrole i upravljanja u oblasti elektromotornih pogona. Na principima autokoding programiranja i na primeru vektorski upravljano elektromotornog pogona baziranog na asinhronom trofaznom kaveznom motoru pokazano je kako se uz pomoć rešenja koje pruža MATLAB/Simulink na relativno jednostavan način mogu realizovati čak i kompleksni sistemi kontrole i upravljanja.

Prikazanim rezultatima su dati najznačajniji rezultati do kojih se došlo. Kao poseban značaj rada ističe se da je kontrola urađena na prototipu sistema koji je u celosti realizovan na Katedri za energetska elektroniku i pretvarače Fakulteta tehničkih nauka.

#### 5. LITERATURA

- [1] Darko P. Marčetić, „Mikroprocesorsko upravljanje energetskim pretvaračima“, FTN izdavaštvo, Novi Sad 2014.
- [2] Veran Vasić, Đura Oros, „Energetska elektronika u pogonu i industriji“, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2012.
- [3] „TMS320x280x, 2801x, 2804x Enhanced Pulse Width Modulator (ePWM) Module – Reference guide“, internet sajt <https://www.ti.com>, pristupljeno u februaru 2021.
- [4] Andrzej M. Trzynadlowski, “The field orientation principle in control of induction motors”, University of Nevada, Reno, 1993.
- [5] Tiffany Liang, „Automatic Code Generation for Embedded Control Systems“, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), pristupljeno u martu 2021.

#### Kratka biografija:



**Zoran Davidović** rođen je u Novom Sadu 1994. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine, odbranio je 2019.



**Dragan Milićević** rođen je 1977. god. u Tuzli. U zvanje vanrednog profesora je izabran 2019. god. Oblast interesovanja su višefazne mašine, elektromotorni pogoni i obnovljivi izvori električne energije.



**ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПАМЕТНОГ СИСТЕМА ЗА НАВОДЊАВАЊЕ ЗАСНОВАНОГ НА СЕНЗОРСКИМ МЕРЕЊИМА И ПРИМЕНИ MQTT ПРОТОКОЛА****IMPLEMENTATION OF IRRIGATION SMART SYSTEM BASED ON SENSOR MEASUREMENT AND APPLICATION OF MQTT PROTOCOL**

Димитрије Ђукановић, Живко Бојовић, Дејан Немец, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

**Област – ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ**

**Кратак садржај** – У овом раду описана је имплементација паметног система за наводњавање. Говориће се о компонентама система, њиховој имплементацији, као и процесу прикупљања, обраде и слања података на платформу.

**Кључне речи:** *Internet of Things, паметан пластеник, сензор, ESP32, WiFi, MQTT, Ubidots IoT платформа*

**Abstract** – *This paper presents implementation of smart system for irrigation. There will be discussed about components of system, their implementation, as well as the process of collecting, processing and sending data to the platform.*

**Keywords:** *Internet of Things, smart greenhouse, sensor, ESP32, WiFi, MQTT, Ubidots IoT platform*

## 1. УВОД

До 2050. године, претпоставља се да ће 70% светске популације бити део урбане популације и недовољна количина хране у градским областима је могућа. Стога потребно је донети решење комбинујући пољопривреду, технологију и архитектуру.

*Internet of Things (IoT)* је један од просперитетних концепата на пољу Интернета. *IoT* би могао донети до сада незамислива решења. Због потенцијалних примена *IoT*-а, испоставило се да је истакнути предмет научног истраживања. Значај и примена ових технологија су у озбиљним расправама и истраживањима.

Будући да се тржиште још увек развија, пољопривредници су почели да схватају да је *IoT* покретачка снага за повећање производње на исплатив начин. *IoT* има велики потенцијал да трансформише пољопривреду у многим аспектима и учини је високо ефикасном.

Тема овог рада је развој система за наводњавање који ће применом сензорске технологије, контролне јединице и *IoT* платформе визуелизовати податке, контролисати пумпу и аутоматски вршити заливање земљишне површине водом, како би се остварили максимални ефекти у погледу уштеде воде и ангажовања радне снаге.

## НАПОМЕНА:

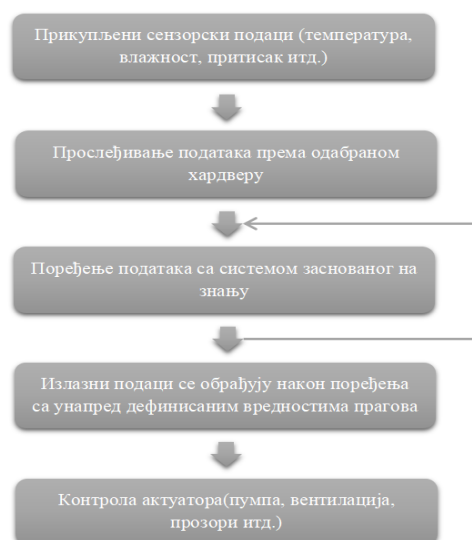
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Живко Бојовић, ванр. проф.

## 2. ПАМЕТНА ПОЉОПРИВРЕДА

Паметна пољопривреда подразумева употребу нових технологија у областима пољопривреде и сточарства за повећање количине и квалитета производње, максималним коришћењем ресурса и минимизацијом утицаја на животну средину. У овом раду говориће се о *IoT* архитектурама за паметне стакленике где имплементирани систем за наводњавање има своју примену. Када се говори гајењу пољопривредних култура у паметним стакленицима, постоје три основне технике, традиционална, вертикална и хидропонска [1].

### 2.1. Традиционална техника

Традиционална техника углавном се користи за гајење воћа и поврћа. Ова техника се ослања на сунчеву светлост и захтева велику количину простора, стога оваква окружења настајују рурална и приградска подручја. *IoT* архитектура традиционалне технике дата је на слици 1.



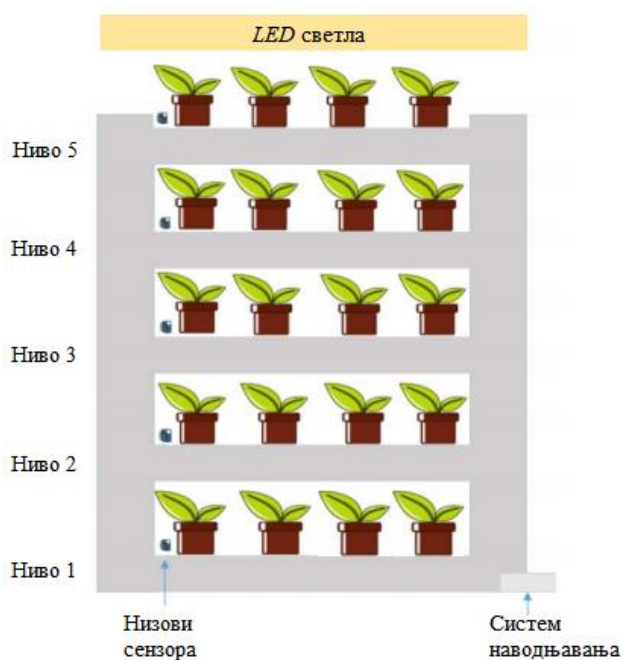
Слика 1. *IoT* архитектура традиционалне технике

### 2.2. Вертикална техника

Вертикална техника углавном се примењује у паметним стакленицима, где се може обезбедити потребна контрола окружења.

Ова техника још увек је у развоју. Тренутно модели потпуне аутоматизације и оптимизације нису још спроведени. Илустрација ове технике гајења култура дата је на слици 2.

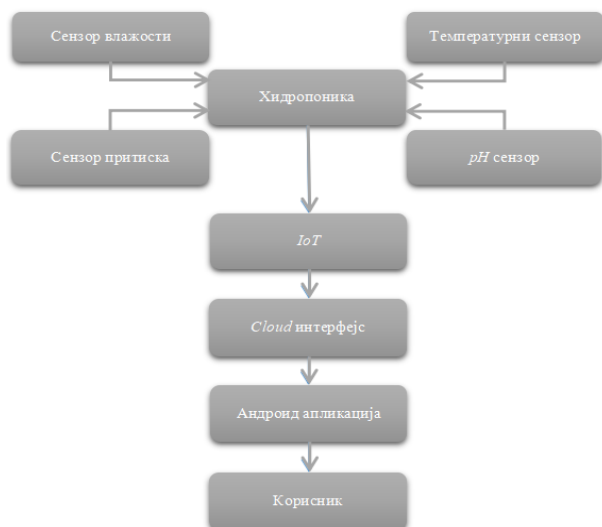




Слика 2. Илустрација вертикалне технике

### 2.3. Хидропонска техника

Ова техника представља гајење култура у води, без коришћења земљишта, штавише ова техника захтева мање воде у односу на традиционалну. Упркос *IoT* уређајима који се примењују, ова техника захтева обиман ручни рад. Пример стандардног алгоритма који се примењује у овој техници дат је на слици 3.



Слика 3. Пример стандардног алгоритма за хидропонску технику

## 3. *IoT* ТЕХНОЛОГИЈЕ

Паметна пољопривреда заснована на *IoT* технологијама омогућава пољопривредницима да повећају продуктивност и ефикасно користе ресурсе као што су вода, струја итд. *IoT* решења у паметној пољопривреди представљају системи који су изграђени за надгледање земљишта и усева помоћу сензора (светлост, влажност ваздуха и земљишта, температура, здравље усева итд.) и аутоматизацију система за наводњавање. Пољопривредници могу надгледати услове са било ког места. Такође, могу да бирају између ручних и

аутоматизованих опција за предузимање неопходних радњи на основу прикуљених података.

### 3.1. Сензори

Сензори су савремена пољопривредна технологија, развијена да помогну пољопривредницима да постигну брже и боље резултате, помажући у одређивању различитих карактеристика земљишта и квалитета усева. Могу се користити за мерење у реалном времену, чиме се контролише промена услова. Такође, може се користити генеришући мапе земљишта помоћу сензора и *GPS*-а. Сензори који се користе у паметној пољопривреди могу се класификовати на акустичне, оптичке, оптоелектронске, електрохемијске, електромагнетне, механичке, сензоре протока ваздуха, протока и нивоа воде, детекције светлости, као и *Field-Programmable Gate Array (FPGA)* и *Eddy Covariance* сензоре.

### 3.2. Комуникација

Комуникација у области паметне пољопривреде игра важну улогу. Фактори попут трошкова, покривености, потрошње енергије и поузданости су критични и морају се разматрати пре избора начина комуникације система (*WiFi*, *Cellular*, *Bluetooth*, *Zigbee*, *Lora umd.*). Комуникациони протоколи омогућавају уређајима размену података преко мреже. Протоколи дефинишу формате података, њихово кодовање, шему адресирања уређаја и усмеравање пакета. Такође, протоколи омогућавају контролу тока података, као и поновно слање изгубљених пакета.

### 3.3. *Cloud computing*

*Cloud computing* представља Интернет *Cloud* „резервоар“ који користи централизовану или дистрибуирану технологију рачунања. *Cloud computing* пружа различите врсте сервиса, инфраструктуру, платформу и софтвер као сервис. Предност *Cloud computing*-а огледа се у динамичком надгледању система и чувању података, као и информисању пољопривредника уз мале трошкове.

У имплементацији система за наводњавање у овом раду битну улогу има *IoT* платформа. Подаци обрађени на микроконтролеру прослеђују се на платформу помоћу *MQTT* протокола. Овај протокол дизајниран је да веома лако врши пренос података помоћу метода *publish* и *subscribe*. На платформи се врши визуелизација података, као и контролна подешавања за жељене акције (паљење/гашење пумпе, слање алармних обавештења итд.). Такође, поред платформе, постоји могућност коришћења андроид апликације која олакшава кориснику увид о подацима система. Ови подаци се синхронизују са платформом, као и жељена актуаторска подешавања.

## 4. КОМПОНЕНТЕ СИСТЕМА

Компоненте система за наводњавање су:

- систем напајања
- *PCB* (Printed Circuit Board) плоча
- сензорски модули
- пумпа
- *ESP32 DEVKIT V1* микроконтролер
- *Ubidots IoT* платформа

На слици 4. приказана је блок шема хардверских компоненти система за наводњавање о ком се говори у раду.



Слика 4. Блок шема хардверских компоненти

Систем за напајање чине:

- Оловна батерија, чији номинални напон је 12 V, а номинални капацитет 1,3 Ah.
- Монокристални соларни панел, максималне снаге 15 W и максималног напона 18 V које ће соларни контролер прилагодити за потребе система.
- Phocos CML05 соларни контролер [2].

Шема система за напајање дата је на слици 5.



Слика 5. Шема система за напајање

На PCB плочи израђени су потребни излазни пинови за напајање (Директним прослеђивањем 12 V за напајање пумпе и 5 V помоћу L7805 регулатора напона за напајање микроконтролера и сензорских модула), сензорске модуле, место на ком се смешта главна контролна јединица (микроконтролер), као и шема транзистора потребна за контролу пумпе (BD139 NPN транзистор).

Сензорски модули који се користе у систему за наводњавање су:

- BMP280, сензор притиска ваздуха
- HTU21D, сензор температуре и влажности ваздуха
- MQ-135, гасни сензор (CO2)
- DS18B20, сензор температуре земљишта
- Decagone 10HS, сензор влажности земљишта (за систем су коришћена два сензорска модула)

Пумпа се директно повезује на PCB плочу, на којој се налазе излазни пинови и користи напајање од 12 V. Као што је већ поменуто, путем транзистора уграђеног на плочи могућа је контрола интензитета рада пумпе. Интензитет пумпе контролише се помоћу PWM сигнала који се шаље са микроконтролера [3].

Прагови за активност пумпе и интензитет подешавају се на платформи.

Микроконтролер представља „срце“ система и на њему се врши прикупљање података са сензорских модула, њихова обрада и слање, као и извршавање акција прослеђених са платформе. У овом систему коришћен је ESP32 DEVKIT V1 микроконтролер [4].

Микроконтролер садржи два процесорска језгра са фреквенцијом такта од 240 MHz, као и RAM меморију од 512 kB. Поседује периферне интерфејсе као што су ADC, DAC, I2C, PWM итд. Путем ових интерфејса повезују се одговарајући сензорски модули и одговарајућом технологијом врши пренос података од сензора до микроконтролера. Уграђеним софтверским библиотекама или другим софтверским решењима подаци са обрађују на микроконтролеру. Обрађени подаци се шаљу на платформу помоћу WiFi комуникације коју поседује овај микроконтролер.

Као што је већ споменуто, IoT платформа има важну улогу у систему о ком се говори. Ubidots IoT платформа [5] користиће се као решење за имплементацију система. Подаци обрађени на микроконтролеру шаљу се на платформу преко WiFi мреже и помоћу MQTT протокола. Како MQTT протокол садржи publish/subscribe методе преноса података, методом publish врши ће се слање података на платформу како би се извршила визуелизација. На основу примљених података на платформи, поред визуелизације платформа омогућава подешавање додатних променљивих које се могу мењати на основу примљених података.

Методом subscribe микроконтролер ће се „претплатити“ на задату променљиву на платформи, где ће у реалном времену пратити промене вредности. Ове променљиве имају улогу актуатора, где ће се на основу подешених услова мењати вредности (0 или 1 за стање активности пумпе) или задавати ручно (интензитет рада пумпе). Када се на платформи промени вредност променљиве на којој је микроконтролер subscribe-ован, микроконтролер ће извршити акцију (упалити/угасити пумпу или променити интензитет рада пумпе).

## 5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА СИСТЕМА

Да би се компоненте система, о којима се говорило у претходном поглављу, интегрисале у једну целину, потребно је имплементирати софтверско решење, као и извршити подешавања на платформи.

За реализацију програмског кода коришћено је Arduino IDE развојно окружење са уграђеним библиотекама за дефинисање интерфејса за комуникацију микроконтролера са сензорским модулима, са могућношћу обраде података, као и комуникације микроконтролера са платформом.

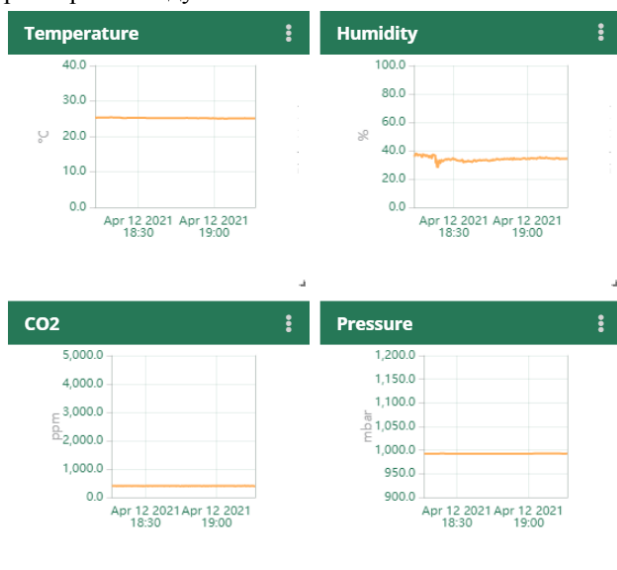
Да би се постигла аутоматизација система потребно је подесити жељене услове за рад пумпе. Ова подешавања задају се на платформи у делу Data/Events, где се на основу обрађених података послатих са микроконтролера постављају вредности прагова.

На слици 6. приказане су софтверске библиотеке коришћене за имплементацију кода.

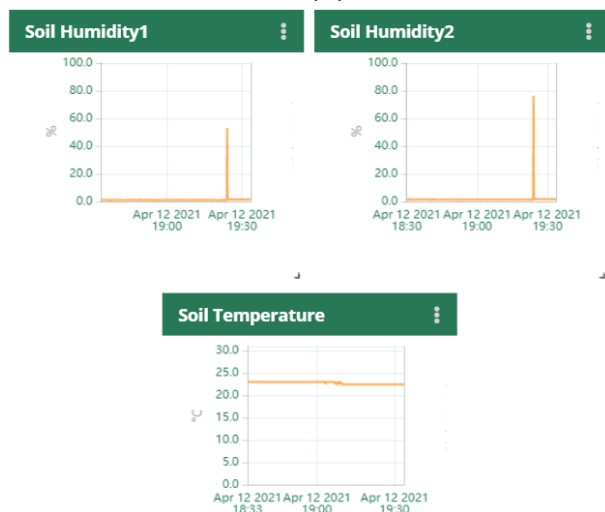
```
#include <WiFi.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
#include "SparkFunHTU21D.h"
#include <BMx280I2C.h>
#include <MQ135.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
```

Слика 6. Библиотеке коришћене за имплементацију кода

Слике 7. и 8, респективно, приказују графике вредности података примљених са микроконтролера за параметре из ваздуха и земљишта.



Слика 7. Визуелизација података за параметре у ваздуху



Слика 8. Визуелизација података за параметре у земљишту

## 6. ЗАКЉУЧАК

Паметна пољопривреда може постићи високе резултате помоћу IoT технологија. Технологија је последњих година изузетно напредовала, стога узгајање пољопривредних култура применом паметних стакленика нуди велики број решења.

Главни циљ овог рада јесте да се имплементацијом паметног система за наводњавање постигну резултати уштеде воде, енергије, као и смањењу ангажовања радне снаге. Сензорским технологијама, микроконтролером и IoT платформом олакшати пољопривредницима гајење пољопривредних култура. Праћењем података о влажности и температури земљишта, као и температури, влажности, притиску и концентрацији CO<sub>2</sub> у ваздуху, пољопривредник ће моћи да анализира и доноси одлуке о побољшању производње.

Како је паметна пољопривреда још увек у равоју, развијају се и решења са имплементацијом нових и ефикаснијих паметних система.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] [https://www.researchgate.net/publication/340326857\\_Iinternet\\_of\\_Things\\_Empowered\\_Smart\\_Greenhouse](https://www.researchgate.net/publication/340326857_Iinternet_of_Things_Empowered_Smart_Greenhouse)
- [2] <https://cdn.sos.sk/productdata/ff/87/b1feaf2/cml-05.pdf> (приступљено у априлу 2021.)
- [3] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-microcontroller-timers-pwm-timers/> (приступљено у априлу 2021.)
- [4] <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/> (приступљено у априлу 2021.)
- [5] <https://ubidots.com/>

### Кратка биографија:



**Димитрије Ђукановић** рођен је у Лозници 1994. год. Дипломирао је на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, из области Електротехнике и рачунарства – Енергетика, електроника и телекомуникације у октобру 2018. год. и уписује мастер академске студије на истом факултету.



**Живко Бојовић** рођен је у Пећи 1967. год. Завршио Електротехнички факултет у Приштини, а магистарску тезу из области обраде говорног сигнала и докторску дисертацију на тему тестирања квалитета сервиса у живој IP MPLS мрежи, одбранио је на Факултету техничких наука у Новом Саду где од од 2020. године ради као ванредни професор.



**Дејан Немец** рођен је 1972. год. Дипломирао, специјализирао и магистрирао је на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства. Област интересовања су му телекомуникације и обрада сигнала.

### Захвалница:

Израду овог рада помогао је Факултет техничких наука у Новом Саду, Департаман за енергетику електронику и телекомуникације, у оквиру пројекта под називом: "Истраживања у области енергетике, електронике, телекомуникација и примењених информационих система у циљу модернизације студијских програма".

**POSLOVNI PROCESI U KOLABORACIJI SA BLOKČEJNOM****BUSINESS PROCESSES IN COLLABORATION WITH BLOCKCHAIN***Zorka Jocović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – Primenjene računarske nauke (Elektronsko poslovanje)**

**Kratak sadržaj** – Ovaj rad predstavlja istraživanje mogućnosti integrisanja poslovnih procesa i blokčejna. Poslovne procese karakteriše tačan redosled akcija da bi se izvršio neki posao, te su oni pogodni za upotrebu kod aplikacija koje imaju jasno definisan tok operacija. Kao primer u ovom radu korišćeno je rezervisanje automobila. Ovakva aplikacija je pogodna za korišćenje i Blokčejn tehnologije, jer zahteva nekoliko faza u kojima se mora postići konsenzus (garancija) da su ispunjeni svi uslovi oko kojih se dogovaraju klijent koji iznajmljuje auto i agent koji izdaje isti.

**Ključne reči:** bpmn, blokčejn, pametni ugovor, ethereum, transakcija, adresa, rudarenje

**Abstract** – This paper presents research of the possibilities of business processes, blockchain and their integration. Business processes are characterized by the exact sequence of actions to perform a job, so they are suitable in applications that have a clearly predefined flow. For example, in this paper is used Rent A Car application. The application is suitable for the use of Blockchain technology, as it requires several stages in which a consensus must be reached to meet all the conditions agreed between client and agent.

**Keywords:** bpmn, blockchain, smart contract, ethereum, transaction, address, mining

**1. UVOD**

Odnedavno se tehnologija lanca blokova (eng. *blockchain*) – u nastavku rada korišćice se izraz blokčejn) počela koristiti u različitim sektorima, kao što su industrija i istraživanje. Razlog povećanog interesa za ove tehnologije jeste taj što aplikacije bazirane na blokčejnu mogu da rade distribuirano, bez potrebe za nekim posrednikom, ili pomoću treće strane, koja bi pregovarala i garantovala interese svih strana.

Blokčejn omogućava čuvanje digitalnih podataka uz minimalne troškove i može sprovoditi sve ono što su se dve strane dogovorile i garantovati neopozivo stanje ugovora.

Blokčejn tehnologije, iako prvenstveno poznate kao osnovna platforma za kripto valute, nalaze svoje primene na različite načine, a jedan od sve bitnijih jeste primena „pametnih ugovora“ (eng. *smart contracts*). U ovom radu prikazana je implementacija pametnih ugovora koji se nalaze i izvršavaju na blokčejnu, a preko kojih se obezbeđuje interakcija poslovnih procesa zainteresovanih strana. Pametni ugovor predstavlja samoizvršivi bajt kod (eng. *byte code*) koji omogućava izvršavanje opisanih, dogovorenih stavki strankama.

**2. BLOKČEJN TEHNOLOGIJA**

Tokom 2008. godine na Internetu se pojavila publikacija anonimnog autora, pod pseudonimom Satoši Nakamoto, koji je predložio decentralizovani sistem elektronskog novca [1]. Ideja o elektronskom novcu nije bila novina u to vreme, ali je ovaj rad detaljno opisao moguću implementaciju koja bi bila distribuirana i kriptografski sigurna koristeći koncept dokaza utrošene računarske snage (eng. *Proof of Work*) pomoću kojeg se postizao konsenzus između učesnika sistema.

Blokčejn je baza podataka koja se ne nalazi na jednom mestu, već je čine manje baze (blokovi) koje su međusobno digitalno povezane, a koje sadrže informacije o digitalnim transakcijama bilo koje vrste: od vlasničkih listova, preko podataka iz knjige rođenih, do ugovora kojim se regulišu autorska prava. Prilikom njihove razmene nema nikakvog regulatora osim same mreže koja sadrži informacije o svim transakcijama koje su ikada izvedene. Svaka promena podataka u ovoj bazi se sprovodi po unapred definisanim pravilima i svaki učesnik sistema mora verifikovati istu. Dakle, za razliku od klasične *online* baze podataka, blokčejn omogućava komunikaciju sa nekoliko računara (servera) između kojih se obavlja transakcija.

**2.1. Adrese**

Pripadnost određenih sredstava - bilans (eng. *balans*) na blokčejn platformi je vezana za adresu. Za formiranje adrese neophodno je generisati par ključeva (privatni i javni) ECDSA šemom. Korisnik može da podeli svoju adresu u svrhu primanja sredstava od drugih korisnika. Par privatnog i javnog ključa, kao i adresa koja je izvedena iz javnog ključa, često se zajedno nazivaju (elektronski) novčanik (eng. *wallet*).

**2.2. Rudarenje**

Rudarenje (eng. *minig*) je proces kreiranja novih blokova u svrhu održavanja cele mreže koje sa sobom nosi i

**NAPOMENA:**

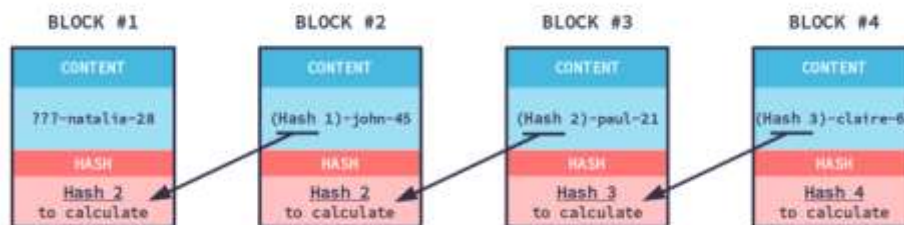
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miroslav Zarić, red. prof.



finansijski podsticaj (nagradu). Učesnici sistema koji imaju dovoljnu količinu kompjuterskih resursa za rudarenje mogu pristupiti ovom procesu i nadmetati se. Učesnik koji prvi izrudari blok biva nagrađen određenom količinom *Bitcoin*-a, *Ether*-a ili neke druge kriptovalute u zavisnosti od tipa blokčejna.

Rudarenje se svodi na heširanje zaglavlja bloka dok dobijena heš vrednost ne ispunjava određene uslove. Uslov je da heš vrednost bude manja od određene

vrednosti koja je trenutna težina rudarenja koja se kalkuliše u sistemu. Svaka iteracija algoritma rudarenja se sprovodi sa drugom vrednošću polja *nonce*. I najmanja promena ulaznih podataka zaglavlja bloka rezultuje velikom promenom izlaza heš funkcije, što omogućava da se algoritam iznova pokušava, sve dok se uslov ne ispuni. Kada se ispuni uslov, blok se šalje svojim susedima i propagira po celoj mreži i kreće nadmetanje za sledeći blok. Na slici 1 prikazan je lanac blokova.



Slika 1. Lanac blokova [2]

### 2.3 Pametni ugovori

Pametni ugovori predstavljaju glavni koncept implementiran na *Ethereum* [3] blokčejn platformi. U osnovi, pametni ugovor je računarski program koji verifikuje i izvršava svoje uslove po nastanku unapred određenih događaja. Njih odlikuje svojstvo da se nakon smeštanja na blokčejn više ne mogu promeniti. Ovim mehanizmom se može obezbediti smanjenje rizika između učesnika koji nemaju uspostavljeno međusobno poverenje tako što mogu da prihvate ili da odbiju interakciju sa pametnim ugovorom nakon inspekcije njegove sadržine tj. programskog/bajta koda.

Dakle, pametni ugovori se ne sprovode u skladu sa zakonima određene zemlje, kao kod standardnih pisanih ugovora, gde se primenom tih zakona osiguravaju određeni uslovi, već funkcionišu tako što je sve ono što se mora ispuniti napisano u ugovoru. Ovakvim rešenjem se zaista eliminiše bilo koja vrsta posrednika.

Kada je u pitanju *Ethereum* blokčejn, koji u osnovi predstavlja distribuiranu bazu podataka, čvorovi mreže moraju biti u mogućnosti da postignu dogovor o trenutnom stanju sistema, što se postiže mehanizmom konsenzusa. Konsenzus mehanizmi ili protokoli omogućavaju pouzdanu komunikaciju između nepoverljivih strana. Trenutno se koriste PoW (*Proof of Work*) i PoS (*Proof of Stake*) mehanizmi.

### 3. POSLOVNI PROCESI

Upravljanje poslovnim procesima (eng. *Business Process Management – BPM*) bavi se dizajnom, analizom, izvršenjem, praćenjem, automatizacijom i unapređenjem poslovnih procesa. Zasniva se na postavci da je svaki proizvod (usluga), koju određena kompanija (organizacija) nudi tržištu, rezultat obavljanja niza aktivnosti u kompaniji.

Poslovni proces se izvršava u okviru jedne organizacije. Sistem za upravljanje poslovnim procesima može se koristiti za uspostavljanje kontrole nad poslovnim procesom (orkestracija). Što se tiče korisnika ovakve vrste sistema, to su menadžeri (organizacioni nivo) i IT sektor (istraživači i programeri). Za modelovanje poslovnih

procesa koristi se BPMN (eng. *Business Process Model Notation*).

Dakle, proces je niz operacija koje se izvode u uređenom redosledu koji je određen skupom poslovnih pravila. Proces se može definisati i kao strukturirani niz aktivnosti koje pokreće određeni događaj (ili više njih), a čiji je zadatak ostvarivanje (rezultat) određenog cilja (Slika 2). Proces koristi resurse prilikom ostvarivanja definisanog cilja, podložan je spoljašnjim uticajima i njime treba upravljati.



Slika 2. Definicija procesa

#### 3.1. BPMN – Business Process Model Notation

BPMN (eng. *Business Process Model Notation*) se koristi za modelovanje poslovnih procesa. Primarni cilj BPMN-a bio je pružiti zapis koji je svima lako razumljiv u nekom sistemu poslovnih korisnika; od poslovnih analitičara koji kreiraju početne nacрте procesa, do programera koji su odgovorni za primenu tehnologije koja će implementirati procese i konačno, poslovnim ljudima koji će upravljati i nadgledati te procese (menadžeri).

BPMN stvara most između dizajna poslovnog procesa i implementacije procesa. On definiše dijagram poslovnog procesa, koji se zasniva na tehnici dijagrama toka i koristi grafički model poslovnog procesa.

Model poslovnog procesa je u suštini graf objekata, koji predstavljaju aktivnosti (tj. zadatak) i tok koji kontroliše redosled izvršavanja istih.

BPMN notacija definiše skup grafičkih elemenata koji se mogu koristiti za formiranje modela procesa. Ovi elementi omogućavaju lak razvoj jednostavnih dijagrama, koji će većini poslovnih analitičara izgledati poznato (npr. *flowchart diagram*). Elementi koji se koriste se međusobno razlikuju po obliku, ali su slični u većini alata



za modelovanje. Glavni cilj modela jeste stvaranje jednostavnog mehanizma za kreiranje modela poslovnih procesa, koji je istovremeno u stanju da se nosi sa složenošću poslovnog procesa. Pristup preduzet za ispunjavanje ova dva sukobljena zahteva jeste da se grafički aspekti notacije organizuju u određene kategorije.

### 3.2. Koreografije u BPMN-u

Koreografija predstavlja više poslovnih procesa u kome različite organizacije (poslovni partneri) obavljaju međusobnu interakciju. Da bi se pravilno izmodelovala, ne moraju se poznavati svi koraci koje organizacije obavljaju, ali je neophodno znati u kojim tačkama internih procesa je neophodno ostvariti interakciju između procesa. Koreografski jezici pružaju sredstvo za preciziranje razmenjenih poruka između organizacija, zajedno sa ograničenjima u ponašanju [2]. BPMN sadrži veliki skup grafičkih elemenata za modelovanje ovakvih procesa, zbog čega se i koristi u ovom radu.

Koncepti koreografije su vrlo značajni za ovaj rad, jer predstavljaju osnovno sredstvo komunikacije između organizacija koje su korišćene u primeru aplikacije

## 4. OPIS FUNKCIONALNOSTI APLIKACIJE ZA IZNAJMLJIVANJE AUTOMOBILA

Kao što je već spomenuto, aplikacija koja će se analizirati u ovom radu jeste *web* aplikacija koja se koristi za iznajmljivanje automobila od *Rent A Car* kompanije, oslanjajući se na već analizirane tehnologije (blokčejn i *BPM*).

Ugovorne strane koje će učestvovati u ovom sistemu su diler, odnosno agent koji se bavi iznajmljivanjem automobila, dok je sa druge strane klijent kao korisnik automobila. Ulogu posrednika obavljaće blokčejn komponenta, koja će automatski "zapisivati" sve stavke ugovora oko kojih se dogovore stranke.

Sam proces počinje poručivanjem automobila od strane klijenta, odnosno slanjem upita za željenim automobilom. Agentu pristize porudžbina od klijenta, on je analizira i odlučuje da li može da ispuni zahteve. Ukoliko može i ima traženi automobil na stanju, šalje ponudu klijentu sa uslovima najma. Potom klijent pregleda ponudu pristiglu od agenta i odlučuje da li mu ponuđeni uslovi odgovaraju ili ne. Ukoliko mu ne odgovaraju, on je odbija i sam proces se terminira. Međutim, ukoliko prihvati ponudu, ugovor se dodaje u blokčejn i agent dobija obaveštenje da je klijent prihvatio ponudu, a agent obaveštava kupca da je auto spreman za preuzimanje. U pametni ugovor se upisuju sve stavke iz ponude agenta na koje je kupac pristao. U ponudi agenta, uneo je cenu depozita koju klijent mora platiti pre nego preuzme auto. Informacija da je klijent platio depozit se takođe beleži u ugovoru. Kada klijent završi sa vožnjom iznajmljenog automobila, on ga vraća nazad agentu. Agent proverava da li je automobil oštećen dok je bio kod klijenta. Ako nema oštećenja, klijent plaća najam umanjen za visinu depozita koji je plaćen prilikom preuzimanja automobila. Ukoliko pak postoje određena oštećenja, agent procenjuje vrednost štete i dostavlja račun klijentu. Potom klijent plaća cenu sa računa, u zavisnosti od potencijalnih oštećenja i tu se

završava tok aplikacije. Plaćanje je takođe zamišljeno kao kripto prenos sredstava sa adrese klijenta na adresu agenta. Sve je to omogućeno pomoću *ETH* kriptovalute.

### 4.1 KONFIGURACIJA SISTEMA I KORIŠĆENI ALATI

Kako bi *BPM* bio upotrebljiv i ilustrativan, za njegovo modelovanje korišćen je *Camunda Modeler*, koji koristi *BPMN* (eng. *Business Process Model and Notation*) notaciju za modelovanje procesa.

*BPMN* je grafički prikaz za specifikaciju poslovnih procesa u modelu poslovnog procesa. Prvobitno je razvijen od strane Inicijative za upravljanje poslovnim procesima (eng. *Business Process Management Initiative* – *BPMI*), dok sada *BPMN* održava *Object Management Group* – *OMG*), otkako su se ove dve organizacije spojile 2005. Verzija 2.0. objavljena je u januaru 2011. godine i u tom trenutku je izmenjen i naziv u *BPMN* kako bi održavao uvođenje semantike izvršenja, koja je uvedena zajedno sa postojećim elementima notacije i dijagrama. Najnovija verzija *BPMN*-a je 2.0.2 koja je objavljena u januaru 2014. godine [4].

Korisnik preko *web* aplikacije popunjava date forme i ukoliko je funkcionalnost vezana za pametni ugovor, obraća se serverskoj strani *web* aplikacije. Server je povezan sa *Web3j* bibliotekom, koja pruža interfejs za laku interakciju sa *Ethereum* blokčejnom i njegovim čvorovima. Drugim rečima, *web3j* olakšava međusobnu komunikaciju između klijenta i *Ethereum* blokčejna putem *JSON-RPC*.

Pametni ugovor je napisan korišćenjem jezika *Solidity* [5], objektno-orijentisanog jezika višeg nivoa, koji služi za pisanje pametnih ugovora. Pametni ugovori suštinski predstavljaju male programske celine koje upravljaju ponašanjem naloga na *Ethereum* platformi. Na *Solidity* su uticali jezici kao što su *C++*, *Python* i *JavaScript*, a dizajniran je zarad upotrebe *Ethereum Virtual Machine* (*EVM*). *EVM* se može posmatrati kao analog *JVM* (*Java Virtual Machine*), ali koja koristi mrežu čvorova za komunikaciju. Ekstenzija fajla koji sadrži pametni ugovor je *.sol*.

S obzirom na to da je serverska strana implementirana u *Java Spring* tehnologiji, bilo je potrebno konvertovati pametni ugovor *Solidity* fajla u *Java* klasu. To nam omogućava *Solidity* kompajler (*solc*), koji prevodi *.sol* fajl u *.abi* (*Application Binary Interface*) i *.bin* fajlove, koji se potom pomoću *web3j* biblioteke konvertuju u *.java* klasu. Ovako izvedena klasa sastoji se iz svih funkcija (*static* tipa) koje sadrži pametni ugovor, kao i ugrađenih funkcija za *deploy* i iščitavanje istog. Sve funkcije iz ove klase se mogu pozivati u aplikaciji uobičajeno, kako se inače radi u programiranju. *Solidity* se takođe se koristi i za interakciju sa *Android* aplikacijama.

Što se tiče testne mreže za komunikaciju sa *Ethereum* platformom, korišćen je *Kovan*. S obzirom na to da svaka transakcija koja se izvršava na blokčejnu naplaćuje, potrebno je dobiti testne „novce“ – *Ether-e*. U ovu svrhu korišćen je *Kovan Faucet* koja omogućava legitimnim programerima da dobiju određenu sumu *Ether*-a, koji nemaju tržišnu vrednost, već služe samo za

postavljanje i testiranje pametnih ugovora na *Kovan* mreži.

Prilikom slanja zahteva za dodelu ovih sredstava potrebno je uneti adresu naloga, npr.

0xf3e6721B0974fDd801F74f59f584cEE9424D476d, odnosno eksterni nalog, sa kog će se raditi *deploy* pametnog ugovora, te će posle određenog vremena (uglavnom je to oko 24h) stići na taj nalog predodređena suma *Ether*-a. *Kovan Faucet* sprečava zlonamerne programere da dobiju velike količine ETH, kako ih ne bi zloupotrebljavali. Dakle, ovakva vrsta „novca” služi samo u svrhe razvoja softvera, odnosno testiranja. Nakon što se dobije određena testna suma kriptovalute, mogu se izvršavati transakcije na *Ethereum* platformi.

Za detaljan prikaz transakcija na blokčejnu, korišćen je *Etherscan* sajt koji poseduje spisak svih transakcija koje je izvršila određena adresa, odnosno sva plaćanja, kreiranje pametnih ugovora, kao i njihovo iščitavanje.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad imao je za cilj da pokaže mogućnost korišćenja blokčejn tehnologije kao posrednika u komunikaciji poslovnih procesa. Blokčejn tehnologija je trenutno izuzetno uzbudljiva: ona ima potencijal ne samo da transformiše postojeće procese već i stvara nove mogućnosti i inovacije. Kako se pomamnost oko tržišta kriptovaluta smiruje, očekujemo da će preduzeća obraćati više pažnje na aplikacije i mogućnosti blokčejn tehnologije u industrijama kao što su nekretnine, finansije, zdravstvo i proizvodnja i ostalo.

Kao primer aplikacije koja je razvijana upotrebom blokčejna, tačnije *Ethereum*-a, prikazana je implementacija procesno bazirane aplikacije za iznajmljivanje automobila tzv. *Rent a car*. S obzirom na to da su korisnici ovakvog sistema nepoverljive strane, bio bi im potreban određeni autoritet, posrednik koji bi garantovao da se ispune sve obaveze između njih. Međutim, u ovom rešenju upravo tu ulogu preuzima Blokčejn, koji na svojoj platformi nudi mogućnost sklapanja elektronskih - pametnih ugovora. Budući da su zasnovani na kodu, pametni ugovori se mogu odmah i automatski izvršiti, bez oslanjanja na ručni prenos ili intervenciju instituta. Svaka ugovorna strana upisuje određene stavke koje joj odgovaraju, ukoliko ih druga potvrdi, ugovor se izvršava. Svaka transakcija koja je nastala prilikom upisivanja stavke u ugovor košta minimalno, dok bi notari i ostali posrednici naplatili mnogo veće sume novca za isti posao. Zatim, svaka stavka koja je upisana u pametni ugovor se ne može promeniti, te je vrlo teško doći do prevare neke od ugovornih strana.

Potencijalna unapređenja trenutnog rešenja:

1. Poboljšanje na UI strani, kako bi UI elementi bili što više *user-friendly*.
2. Što se tiče poslovnog procesa, bilo bi dobro razdvojiti svaki proces u zasebne module, pa ih pozivati iz kontrolnog kao podprocese.
3. Na *backend* strani može se unaprediti skalabilnost sistema, odnosno proširivost, ukoliko bi bilo još dodatnih ugovornih strana.
4. Što se tiče obaveštavanja klijenta o isteklom periodu najma, možemo implementirati sistem notifikacija, npr. podsetnik da treba automobil da se vrati.
5. Integrisati *web* aplikaciju kao deo celokupnog sistema za određenu kompaniju za iznajmljivanje automobila.

## 6. LITERATURA

- [1] Satoshi Nakamoto, „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“, <http://www.bitcoin.org/>, 2009.
- [2] Decker, G., Kopp, O., Leymann, F., Pfitzner, K., & Weske, M. Decker, G., Kopp, O., Leymann, F., Pfitzner, K., & Weske, M. *Modeling Service Choreographies Using BPMN and BPEL4Chor. Lecture Notes in Computer Science*
- [3] Ethereum Whitepaper  
<https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- [4] BPMN  
<https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>
- [5] Solidity language  
<https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.4/>

### Kratka biografija:



**Zorka Jocović** rođena je u Bijelom Polju 1995. god.  
Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Primenjene računarske nauke odbranila je 2021.god.  
kontakt:  
[zorkajocovic@yahoo.com](mailto:zorkajocovic@yahoo.com)

## RAZVOJ Kubernetes KLASTERA ZA RAD SA Docker KONTEJNERIMA

### DEVELOPMENT OF CUBERNETES CLUSTERS FOR WORKING WITH DOCKER CONTAINERS

Nikola Gajić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA

**Kratak sadržaj** – Zadatak rada predstavlja razvoj Kubernetes klastera za rad sa Docker kontejnerima na Raspberry Pi računarima. Za demonstraciju rada samog klastera, biće podignut Nginx veb server kao i load balancer radi pristupanja sadržaju Nginx veb servera. Projekat će biti realizovan uzupotrebom Docker-a, Kubernetes-a, Nginx kao i load balancer-a. Rešenje će biti predstavljeno uz pomoć curl komande iz Raspberry Pi komandne linije kao i iz dva različita veb pretraživača.

**Ključne reči:** Raspberry Pi, Docker, Kubernetes, Load Balancer, Nginx

**Abstract** – This paper presents one solution of developing Kubernetes clusters for working with the Docker container on Raspberry Pi platform. To demonstrate the work of the cluster, an Nginx web server and a load balancer will be set up to access the contents of the Nginx web server. The project will be realized using, Docker, Kubernetes, Nginx and Load balancer. The solution will be presented with the help of a curl command from the Raspberry Pi terminal as well as from two different web browsers.

**Keywords:** Raspberry Pi, Docker, Kubernetes, Load Balancer, Nginx

#### 1. UVOD

Zadatak rada predstavlja kreiranje Kubernetes klastera uz pomoć Dockera na tri fizička računara Raspberry Pi 4 model B. Kao primer za primenu klastera podignut je Nginx veb server i implementiran je Load balancer kojim se vrši demonstracija prisupa Nginx veb serveru.

Prvo poglavlje je uvodno, dok se u drugom nalazi opis izabranih tehnologija koje su korišćene pri izradi master rada. Treće poglavlje predstavlja detaljan opis konkretne implementacije dok je u četvrtom poglavlju iznet zaključak.

#### 2. OPIS KORIŠĆENIH TEHNOLOGIJA

Za implementaciju čitavog sistema korišćeno je tri fizička Raspberry Pi računara, Docker za isporuku softvera i Kubernetes kao sistem za orkestraciju softvera otvorenog koda.

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milan Vidaković, red. prof.

Za samu demonstraciju rada klastera podignut je Nginx veb server i implementiran je load balancer service koji vrši proces raspodele zadataka sa ciljem da obrada samih zadataka bude što efikasnija.

#### 2.1. Raspberry Pi

Raspberry Pi [1] predstavlja računar malih dimenzija koji je prvobitno bio namenjen za promociju podučavanja osnovnih računarskih nauka u školama.

#### 2.2. Docker

Docker [2] predstavlja skup proizvoda koji koriste virtualizaciju na nivou operativnog sistema za isporuku softvera u paketima koji se nazivaju kontejneri. Kontejner [3] je proces koji se odvija na samom računaru i koji može da komunicira sa ostalim procesima pokrenutim na istom računaru. Docker je moguće podesiti na različitim arhitekturama što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. Podržane Docker arhitekture [4]

| Platform | x86_64 / amd64 | ARM | ARM64 / AARCH64 |
|----------|----------------|-----|-----------------|
| CentOS   | ✓              |     | ✓               |
| Debian   | ✓              | ✓   | ✓               |
| Fedora   | ✓              |     | ✓               |
| Raspbian |                | ✓   | ✓               |
| Ubuntu   | ✓              | ✓   | ✓               |

#### 2.3 Kubernetes

Kubernetes [5] je sistem otvorenog koda za orkestraciju kontejnera kako bi se postigao određeni nivo automatizacije, skaliranja i upravljanja računarskim aplikacijama. Kubernetes klaster predstavlja skup računara koji su međusobno povezani i kao takvi se nazivaju nodovi [6]. Svaki klaster mora da ima najmanje jedan radni nod. Na nodovima koji se nalaze u klasteru se nalaze raspoređeni pod-ovi koji predstavljaju komponente same aplikacije.

Svaki Kubernetes klaster može da sadrži tri komponente:

- kubelet
- kube-proxy
- Container runtime

#### 2.4 Nginx

Nginx [7] je veb server otvorenog koda koji takođe može da se ponaša kao reverse-proxy, load balancer i mail proxy. Nginx-ova modularna arhitektura zajedno sa asinhronim pristupom obrade zahteva može da pruži visoke performanse pod velikim opterećenjem.

## 2.5. Load balancer

Pojam *load balancer* [8,9] u računarstvu se odnosi na proces raspodele skupa zadataka sa ciljem da ukupna obrada svih pristiglih zahteva bude što efikasnija. *Load balancer* izbegava problem neravnomernog raspoređivanja zahteva računarskim jedinicima kako ne bi došlo do preopterećenja sistema.

## 3. OPIS IMPLEMENTACIJE

Projekat je realizovan na tri *Raspberry Pi* računara na kojim je implementiran *Docker* sa *Kubernetes* klasterom, sa dodatnim servisom poput *load balancera* i *Nginx* veb serverom.

Na samom početku kreirane su tri *boot*-abilne SD kartice sa *Raspberry Pi OS*-om za sva tri fizička *Raspberry Pi*-a. Kreiranje *boot*-abilnih kartica izvedeno je uz pomoć *Raspberry Pi Imager*-a v1.6 nakon čega su iste pokrenute na samim *Raspberry Pi*-evima. Prilikom pokretanja *Raspberry Pi*-eva na svakom od njih je postavljena statička *IP* i to redom:

- 192.168.1.9,
- 192.168.1.10 i
- 192.168.1.11.

Pored postavljanja statičkih *IP* adresa izvršena je i promena imena (*hostname*-a) svakog od *Raspberry Pi*-a i to:

- *k8s-master*,
- *k8s-worker01* i
- *k8s-worker02*.

Na *Raspberry Pi*-u postoji komandna linija koja je definisana u fajlu na *boot* particiji i naziva se *cmdline.txt*. Čitav fajl *cmdline.txt* služi za prosleđivanje argumenata *Linux Kernel*-u kako bi sam sistem startovao sa posebnim parametrima. Komandna linija je izmenjene i dodeljeni su joj parametri

- *cgroup\_enable=cpuset*,
- *cgroup\_enable=memory*,
- *cgroup\_memory=1* i
- *swappiness=1*.

Na svakom *Linux* operativnom sistemu postoji deo memorije koji se koristi kada je količina fizičke *RAM* memorije puna, odnosno kada *Linux*-u ponestane *RAM* memorije neaktivni sadržaj se premešta iz *RAM* memorije u prostor za razmenu koji se naziva *SWAP*. Prostor za razmenu sadržaja je onesposobljen nakon čega je izvršeno ponovno pokretanje *Raspberry Pi*-a.

Nakon onesposobljavanja prostora za razmenu sadržaja započeta je instalacija *Docker*-a komadnom prikazanom na listingu 1.

```
curl -sSL get.docker.com | sh
```

Listing 1. Instalacija *Dockera*

Kako je *Docker* uspešno instaliran na *Raspberry Pi*-u potrebno je pridružiti *Docker* grupu na korisnika, kako bi sam korisnik mogao da vrši izmene na *Docker*-u. Kako je predefinisani korisnika na *Raspberry Pi*-u *pi*, upravo tom korisniku je potrebno dodati posebnu grupu, *Docker* grupu, i dozvoliti mu korišćenja *Docker*-a. Dodavanje

nove grupe *pi* vrši se komandom koja je prikazana na listingu 2:

```
sudo usermod -aG docker pi
```

Listing 2. Dodavanje *Docker* grupe *pi* korisniku

Nakon dodavanja *Docker* grupe na listu grupa kojima pripada *pi* korisnik, izvršena je modifikacija *daemon.json* datoteke koji se nalazi na putanji */etc/docker/daemon.json*. *Daemon.json* predstavlja servis koji se pokreće na samom operativnom sistemu i pokreće se zajedno sa sistemom, što rezultuje automatskim pokretanjem *Dockera* zajedno sa sistemom. Konfiguracija *daemon.json* datoteke prikazana je na listingu 3:

```
{
  "exec-opts": ["native.cgroupdriver=systemd"],
  "log-driver": "json-file",
  "log-opts": {
    "max-size": "100m"
  },
  "storage-driver": "overlay2"
}
```

Listing 3. Konfiguracija *daemon.json* datoteke

Pored konfigurisane *daemon.json* datoteke, aktiviran je *routing*, odnosno usmeravanje internet saobraćaja. Prosleđivanje internet saobraćaja treba da bude omogućeno kada želimo da sam sistem funkcioniše kao ruter, odnosno da prenosi saobraćaj iz jedne mreže u drugu.

Nakon podešenog *Dockera* potrebno je dodati *Kubernetes repository* komandama prikazanim na listingu 4:

```
sudo nano /etc/apt/sources.list.d/kubernetes.list
deb http://apt.kubernetes.io/ kubernetes-xenial main
```

Listing 4. Dodavanje *Kubernetes* skladišta

Takođe je potrebno dodati i *GPG key* (*GNU Privacy Guard*), koji predstavlja kriptografski paket koji omogućava korisnicima da razmenjuju šifrovane poruke. Dodavanje *GPG* ključa prikazano je na listingu 5:

```
curl -s https://packages.cloud.google.com/apt/doc/apt-key.gpg | sudo apt-key add -
```

Listing 5. Dodavanje pouzdanog ključa korisniku *pi*

Nakon što je dodat ključ kojim se omogućava komunikacija, izvršena je instalacija dodatnih *Kubernetes* alata za kreiranje *Kubernetes* klastera, uz pomoć komande prikazane na listingu 6:

```
sudo apt install kubeadm kubectl kubelet
```

Listing 6. Instalacija dodatnih alata

Sve prethodno definisane komande su se izvršavale uporedo na sva tri *Raspberry Pi*-a, čime je dobijeno da se na sva tri *Raspberry Pi*-a nalazi identična konfiguracija. Sledeći korak u konfiguracije je određivanje glavnog node u klasteru i izvršavanje komande predstavljene u listingu 7:

```
sudo kubeadm init --pod-network-cidr=10.244.0.0/16
```

Listing 7. Postavljanje glavnog čvora

Nakon izvršavanje komande na glavnom čvoru, u odgovoru dobijamo sledeće korake koje je potrebno izvršiti na glavnom čvoru kao i konekcioni string za preostale čvorove u klasteru. Koraci i konekcioni string su prikazani u listingu 8:

```
mkdir -p $HOME/.kube
sudo cp -i /etc/kubernetes/admin.conf
$HOME/.kube/config
sudo chown $(id -u):$(id -g) $HOME/.kube/config
kubeadm join 192.168.1.9:6443 --token
wqxipl.kcecp08271rz0zxk --discovery-token-ca-cert-hash
sha256:3ed2ebe3b6fff62d79311c5a7b1036f6949c6459a0
1ddfd7587cd60c8c503c35
```

Listing 8. Odgovor nakon init komande na glavnom računaru

Umrežavanje predstavlja centralni deo svakog *Kubernetes* klastera. Postoji nekoliko načina za implementaciju umrežavanja, dok je za potrebe ovog projekta korišćen *flannel*. *Flannel* [10] je jednostavna mreža koja zadovoljava sve zahteve *Kubernetesa*. *Flannel* se instaliran komandom koja je prikazana na listingu 9:

```
kubectl apply -f
https://raw.githubusercontent.com/coreos/flannel/master/
Documentation/kube-flannel.yml
```

Listing 9. Instalacija *Flannela*

Nakon instalacije *Flannela*, potrebno je dodati i preostale čvorove u *Kubernetes* klaster komandom koja je predstavljena u listingu 8.

Proveru rada samog *Kubernetes* klastera i svih njegovih aspekata je moguće izvršiti iz komande linije glavnog računara u klasteru. Da bi proverili da li su čvorovi validno dodati u klaster kao i da li su operativni, koristi se komanda prikazana u listingu 10:

```
kubectl get nodes -o wide
```

Listing 10. Provera čvorova u klasteru

Na samim čvorovima, nakon njihovog dodavanja u klaster se ne nalazi ništa, prazni su. Potrebno je kreirati *deployment*, odnosno aplikaciju koje će se nalaziti na *pod*-ovima koji se nalaze na čvorovima na računarima. Kreiranje *deployment-a* je prikazano na listingu 11:

```
cat <<EOF | kubectl create -f -
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name: nginx-deployment
spec:
  selector:
    matchLabels:
      app: nginx
  replicas: 2 # tells deployment to run 2 pods matching the
template
  template:
    metadata:
```

labels:

app: nginx

spec:

containers:

- name: nginx

image: nginx:1.14.2

ports:

Listing 11. Kreiranje *nginx deployment-a*

Provera ispravnosti instalirane aplikacije realizuje se komandom predstavljenom u listingom 12:

```
kubectl get pods -o wide
```

Listing 12. Provera *deploymenta* na *pod*-ovima

Nakon instalacije, da bi ceo sistem funkcionisao na ispravan način, potrebno je kreirati *load balancer*. Za kreiranje *load balancer-a* korišćen je *MetalLB* koji predstavlja *load balancer* za *Kubernetes* klastere koji koristi standardne protokole za mrežno usmeravanje. Instalacija *MetalLB-a* se izvodi pokretanjem komandi iz komandne linije koje su prikazane na listingu 13:

```
kubectl apply -f
https://raw.githubusercontent.com/metallb/metallb/v0.9.6/
manifests/namespace.yaml
kubectl apply -f
https://raw.githubusercontent.com/metallb/metallb/v0.9.6/
manifests/metallb.yaml
kubectl create secret generic -n metallb-system
memberlist --from-literal=secretkey="$(openssl rand -
base64 128)"
```

Listing 13. Instalacije *MetalLB-a*

Proveru da li je namespace za *MetalLB* kreiran vrši se komandom prikazana na listingu 14:

```
kubectl get namespace -o wide
kubectl get all -n metallb-system
```

Listing 14. Provera svih *namespace-a*

Nakon same instalacije *MetalLB* potrebno je podesiti *ConfigMap*-u na čitavom sistemu. *ConfigMap*-e omogućavaju da se razdvoji specifična konfiguracija kontejnera što čini aplikaciju prenosivom. Kreiranje *ConfigMap-e* predstavljena je na listingu 15:

```
cat <<EOF | kubectl create -f -
apiVersion: v1
kind: ConfigMap
metadata:
  namespace: metallb-system
  name: config
data:
  config: |
    address-pools:
      - name: default
        protocol: layer2
    addresses:
```



- 192.168.1.240-192.168.1.250

EOF

#### Listing 15. Kreiranje *ConfigMap*-e

Poslednji korak u kreiranju *load balancer*-a realizuje se komandom koja je predstavljena na listingu 16:

```
kubectl expose deploy nginx-deployment --port 80 --type LoadBalancer
```

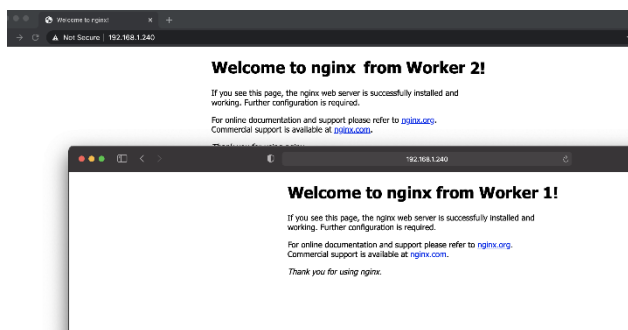
#### Listing 16. Kreiranje *load balancer* servisa

Pregled kompletnog *load balancer* servisa moguće je izvršiti komandom koja je predstavljena na listingu 17:

```
kubectl get svc -o wide
```

#### Listing 17. Pregled *load balancer* servisa

Proveru ispravnosti sistema moguće je startovanjem dva veb pretraživača i kucanjem adrese 192.168.1.240, što je i prikazano na slici 1. Sa slike se vidi da je *load balancer* rasporedio zahteve sa dva pretraživača na dva fizička čvora.



Slika 1. Provera ispravnosti sistema putem veb pretraživača

## 4. ZAKLJUČAK

Osnovni zadatak ovog rada je bio razvoj i demonstracija *Kubernetes* klastera za rad sa *Docker* kontejnerima na fizičkim *Raspberry Pi* računarima. Osnovna ideja je bila kreiranje klastera od tri *Raspberry Pi* računara na kojima se nalazi *Nginx* veb server kojem se pristupa putem veb pretraživača.

Za demonstraciju rada klastera kreiran je *load balancer* kojim se pristupa putem veb pretraživača. U zavisnosti od računara u klasteru kojem je zahtev prosleđen vraća se sadržaj na veb pretraživač.

Projekat je razvijen u aktuelnoj tehnologiji i ima dobru osnovu za dalji razvoj. Proširenje je moguće u smislu dodavanja još fizičkih računara, odnosno *Raspberry Pi*-a kao i *deploy*-ovanje dodatnih aplikacija na klaster.

## 5. LITERATURA

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi) (pristupljeno u maju 2021.)
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Docker\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Docker_(software)) (pristupljeno u maju 2021.)
- [3] <https://docs.docker.com/get-started/> (pristupljeno u maju 2021.)
- [4] <https://docs.docker.com/engine/install/> (pristupljeno u maju 2021.)
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Kubernetes> (pristupljeno u maju 2021.)
- [6] <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/components> (pristupljeno u maju 2021.)
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Nginx> (pristupljeno u maju 2021.)
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/Load\\_balancing\\_\(computing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Load_balancing_(computing)) (pristupljeno u maju 2021.)
- [9] <https://www.nginx.com/resources/glossary/load-balancing/> (pristupljeno u maju 2021.)
- [10] <https://github.com/flannel-io/flannel#flannel> (pristupljeno u maju 2021.)

### Kratka biografija:



**Nikola Gajić** rođen je 19.12.1994. u Novom Sadu. Završio Osnovnu školu „Petar Kočić“ u Indiji i „Gimnazija – Prirodno matematički smer“ u Indiji. Završio je osnovne akademske studije na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu, smer Računarstvo i Automatika. Nakon završenih osnovnih akademskih studija upisao je master akademske studije na istom fakultetu, smer Računarstvo i automatika modul Primenjene računarske nauke i informatika.

kontakt: [gajicnikola41@gmail.com](mailto:gajicnikola41@gmail.com)

**IMPLEMENTACIJA PROGRAMABILNIH LOGIČKIH KONTROLERA SA FUZZY LOGIKOM U UPRAVLJANJU STAMBENIM OBJEKTIMA****IMPLEMENTATION OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS WITH FUZZY LOGIC IN RESIDENTIAL BUILDINGS**

Tijana Pavlović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je programiran programabilni logički kontroler u programskom okruženju TIA portal kako bi se upravljalo pametnom kućom sa sistemom grejanja i hlađenja zasnovanim po principu fazi (engl. fuzzy) logike.

**Ključne reči:** programabilni logički kontroler, fuzzy logika, SCADA, HMI.

**Abstract** – In this paper, a programmable logic controller is programmed in the TIA portal programming environment in order to control a smart home with a heating and cooling system based on the principle of fuzzy logic.

**Keywords:** programmable logic controller, fuzzy logic, SCADA, HMI.

**1. UVOD**

U početku, automatizacija je imala primenu u industriji, dok danas nalazi primenu i u ljudskom životu olakšavajući mu svakodnevnicu. Jedno od najčešćih primena automatizacije u modernom dobu predstavlja pametna kuća. Pametna kuća sa svojim uređajima i sistemima olakšava i pruža udobniji život. Moderan život je konstantno ubrzan i ljudi su skloni zaboravljanju, može se reći da pametna kuća pamti umesto njih i ona je ta koja umesto ljudi isključuje uređaje i time omogućava sigurnost okoline i manju potrošnju energenata i novca, što je svakako cilj svakog čoveka.

Termin „Pametna kuća“ odnosi se na pogodno podešavanje kuće gde se uređajima može automatski upravljati sa bilo kog mesta pomoću Internet veze. Uređaji u pametnom domu međusobno su povezani putem Interneta, što omogućava korisniku da daljinski kontroliše funkcije poput bezbednosnog pristupa domu, temperature, osvetljenja, alarma i slično.

**2. PAMETNE KUĆE**

Suština sistema pametne kuće je da omogući jednostavno upravljanje svim sistemima koji se automatski prilagođavaju potrebama i navikama korisnika. Uređaji pametne kuće povezani su međusobno i može im se

pristupiti preko jedne centralne tačke - pametnog telefona, tableta ili laptopa. Sistem je instaliran na mobilnom uređaju ili drugom umreženom uređaju i korisnik može da kreira vremenske rasporede da bi određene promene stupile na snagu.

Pametni kućni aparati isporučuju se sa veštinama samoučenja, tako da mogu da nauče rasporede vlasnika kuće i da izvrše prilagođavanja po potrebi. Neki sistemi za automatizaciju kuće upozoravaju vlasnika ako se u kući detektuje bilo kakvo kretanje kad ih nema, dok drugi mogu nazvati vlasti - policiju ili vatrogasce - u slučaju neposrednih situacija.

Sistem omogućava realizaciju velikog broja međusobno povezanih funkcija, uključujući: kontrolu i regulisanje rasvete, kontrolu roletni, regulisanje grejanja, hlađenja i ventilacije, sigurnosne sisteme i monitoring, centralnu automatizaciju i sl. [1].



Slika 1: Pametna Kuća

**3. FUZZY LOGIKA**

Fazi logiku je 1965. godine uveo dr Lotfi A. Zadeh u svom radu pod nazivom „Fuzzy sets“. U pitanju je logika koja koristi stepen pripadnosti elementa skupu umesto odrednice da element ili pripada ili ne pripada skupu. Fazi logika nam obezbeđuje mehanizam za reprezentaciju jezičkih konstrukcija kao što su na primer: mnogo, malo, visok, nizak, sredina, često, itd. Uopšteno, fazi logika nam obezbeđuje strukturu koja omogućava sposobnost ljudskog rezonovanja do neke granice.

Ulazi i izlazi mogu imati različite lingvističke nazive. Uobičajeno se promenljive nazivaju opisnim imenima, poput: nivo vode, priliv vode, ljudi srednjeg rasta, velike zarade, brzi automobili, mala rastojanja itd.

Transformaciju ovakvih izraza u oblik matematičke predstave omogućava nam teorija fazi skupova.

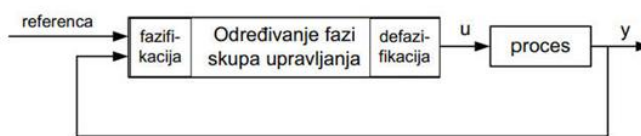
**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Velimir Čongradac, red. prof.

Fazi modeliranje iskaza ukazuje na mogućnost da se fazi regulator formira kao skup pravila kojima se izražava veza između registrovanih vrednosti na izlazu sistema i upravljanja koje treba da promeni te izlaze, odnosno da ih dovede do željenog ishoda. Otuda je kao prvo neophodno da se izvrši izbor ulaznih i izlaznih promenljivih regulatora.

Proces korišćenja fazi sistema obuhvata sledeće faze:

1. Fazifikacija – je faza koja modifikuje signale ulaza tako da mogu biti pravilno protumačeni i upoređeni sa pravilima u bazi pravila. Klasičan, jasan (engl. crisp) signal pretvaramo u adekvatan fazi oblik.
2. Zaključivanje na osnovu pravila – predstavlja mehanizam za procenjivanje koja kontrolna pravila su relevantna za trenutno stanje sistema i odlučuje logičkim sklopom kakav će biti upravljački signal, tj. ulaz u proces.
3. Defazifikacija – transformiše fazi oblik u klasičan oblik signala, koji je „razumljiv“ procesu [2].



Slika 2: Struktura fuzzy regulatora

## 4. PROGRAMABILNI LOGIČKI KONTROLER

Programabilni logički kontroler (engl. *Programmable logic controller* – PLC), je računar namenjen za upotrebu u industrijskim okruženjima, koji se može programirati tako da obavlja upravljačke funkcije. Programabilni logički kontroler je projektovan tako da prihvata više različitih rasporeda ulaza i izlaza, podnosi širok opseg radnih temperatura, neosetljiv je na električni šum i otporan je na vibracije i udarce. Programi koji upravljaju proizvodnjom mašina i opreme najčešće se smeštaju u memoriju koja je trajna ili ima vlastito napajanje. PLC je primer sistema koji radi u realnom vremenu, pošto stanje na izlazima sistema kojim upravlja PLC, zavisi od stanja na ulazima tog sistema. Prema tome, programabilni logički kontroler je u suštini digitalni računar koji je projektovan za upravljanje određenom mašinom ili postrojenjem.

### 4.1. Princip rada PLC-a

Prihvatanje ulaza, obrada i ispis izlaza se ciklički ponavlja u skladu sa programom, određene dužine trajanja, zavisne od broja ulaza i izlaza i složenosti algoritma i vrste primenjenog procesora. Programski ciklus se sastoji od četiri faze.

Pri inicijalizaciji, pri uključenju, PLC prvo proverava moguće greške u svom hardveru i softveru. Ako ih ne pronade, preuzima stanja ulaza (iz registara ulaza) i kopira njihove vrednosti u memoriju na zato predviđene lokacije. Taj postupak se naziva ulazni sken, a podaci u memoriji se nazivaju slika ulaza.

Koristeći ulazne podatke, odnosno njihovu sliku, procesor izvršava programske naredbe kojima su definisane odgovarajuće aritmetičko-logičke funkcije u fazi koja se naziva programski sken.

Pri tom se rezultati obrade smeštaju u zato predviđeno memorijsko područje nazvano slika izlaza. Po završetku programskog skena u fazi nazvanoj izlazni sken podaci iz slike izlaza prenose se na izlaze (registre izlaza) [3] [4].

### 4.2. SCADA sistem

SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) sistem je običan sistem procesne automatizacije koji se koristi da prikuplja informacije pomoću senzora i instrumentacije koji su locirani na udaljenim lokacijama kako bi se ti podaci preneli i prikazali na centralnoj lokaciji koja služi ili za upravljanje ili za svrhe monitoringa. Prikupljeni podaci se obično mogu videti na jednom ili više SCADA Host računara koji su locirani na centralnom ili master sajtu.

### 4.3. Operatorski panel – HMI

Operatorski panel (engl. *Human Machine Interface* – HMI) je interfejs prema korisniku koji omogućava grafički prikaz trenutnog stanja sistema kao i podešavanje parametara koji se odnose na upravljački algoritam.

Iako se termin tehnički može primeniti na bilo koji ekran koji omogućava korisniku interakciju sa uređajem, HMI se najčešće koristi u kontekstu industrijskog procesa.

U industrijskim okruženjima, operatorski paneli se mogu koristiti za vizuelno prikazivanje podataka, praćenje vremena proizvodnje, nadgledanje ulaza i izlaza mašina [5].

## 5. IMPLEMENTACIJA

U ovom radu, programiranje je izvedeno uz pomoć programskog jezika SCL korišćenjem funkcijskog bloka. Funkcijski blok (engl. *Function block* – FB) olakšava izradu aplikativnog softvera PLC-a uklanjanjem potrebe za ponavljanjem pisanja iste programske logike. Funkcijski blok je koncipiran tako da prihvati ulaze iz glavnog organizacionog bloka (engl.

*Organization block* - OB), funkcije (engl. *Function* - FC) ili funkcijskog bloka gde se poziva i generiše izlaze na osnovu tih ulaza i programske logike samog funkcijskog bloka.

Funkcijski blok je po svojoj ulozi sličan funkciji, ali sa jednom velikom razlikom, a to je da funkcija koristi zajednički memorijski prostor PLC-a za čuvanje vrednosti dok funkcijski blok zahteva dodatni blok sa podacima za čuvanje vrednosti.

Za svaki poziv funkcijskog bloka potreban je novi blok podataka koji se naziva pripadajući blok podataka (engl. *Instance data block* – IDB).

Prilikom upotrebe funkcijskih blokova moguće je koristiti multi-instanciranje, tako što se u jednom funkcijskom bloku pozove više funkcijskih blokova čiji blokovi podataka će biti smešteni u pripadajućem bloku podataka glavnog funkcijskog bloka koji ih poziva.

| Setpoint / Temperatura | 10        | 15        | 20        | 25        | 30        |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10                     | No change | Cool 25%  | Cool 50%  | Cool 75%  | Cool 100% |
| 15                     | Heat 25%  | No change | Cool 25%  | Cool 50%  | Cool 75%  |
| 20                     | Heat 50%  | Heat 25%  | No change | Cool 25%  | Cool 50%  |
| 25                     | Heat 75%  | Heat 50%  | Heat 25%  | No change | Cool 25%  |
| 30                     | Heat 100% | Heat 75%  | Heat 50%  | Heat 25%  | No change |

Slika 3: Tabela pravila

## 6. HMI PAMETNE KUĆE-REALIZACIJA SISTEMA

Implementacija PLC-a pruža mogućnost upravljanja stambenim objektom koji predstavlja pametnu kuću. Pametna kuća se sastoji od 5 prostorija (slika 6.1): kupatilo, dnevna soba, spavaća soba, kuhinja i kupatilo. Funkcije koje su implementirane mogu se podeliti u dve grupe: spoljašnje i unutrašnje.

Spoljašnje se sastoje od senzora detekcije noći, spoljašnje temperature, rasvete i autorizacije prisustva odnosno zaštite od provala.

Unutrašnje funkcije su raspoređene po prostorijama koje se nalaze u kući i to na sledeći način: kupatilo poseduje senzor prisustva, senzor osvetljenja, senzor za detekciju poplave, ventilaciju i informaciju o statusu glavnog ventila za dotok vode.

Hodnik, dnevna i spavaća soba poseduju senzor prisustva, senzor osvetljenja, senzor za detekciju požara, ventilaciju i informaciju o položaju roletni.

Kuhinja poseduje senzor prisustva, senzor osvetljenja, senzor za detekciju poplave i požara daje informaciju o statusu glavnog ventila za dotok vode.



Slika 4: Izgled pametne kuće

### 6.1. Simulacija sistema

Na svim ekranima je vidljivo dugme SIMULACIJA koje vodi do simulacionog ekrana na kom je predstavljena simulacija celog sistema.

Ulaskom u kuću aktivira se tajmer koji korisniku daje vremena da unese šifru i time razoruža zgradu, ako vreme istekne, sistem će smatrati da je došlo do provala i aktiviraće se alarm.

Kada je kuća razoružana ispravno, senzor prisustva detektuje ulazak u prostorije i na osnovu njegovog signala uključuje se svetlo, ventilacija, aktivira se fan coil i

cirkulaciona pumpa, dobija se njena potvrda o radu i podižu se roletne.

Vreme kada su roletne podignute unosi se preko panela. Izlaskom iz prostorije, posle određene vremenske zadržke, isključuje se svetlo, ventilacija, automatski se fan coil podešava da bude na željenoj temperaturi koju korisnik unese.



Slika 5: Izgled simulacionog ekrana

Na slici se može videti da se pojavom poplave u kupatilu simbol za ventil promenio iz zelene u sivu boju što označava da je ventil za glavni dotok vode zavrnut. Pojavom požara u spavaćoj sobi, simbol ventilacije menja boju iz zelene u sivu, što znaci da se automatski ventilacija isključuje kada dođe do požara.

## 7. ZAKLJUČAK

U radu je opisana izrada pametne kuće pomoću PLC-a. Bilo je potrebno napraviti program koji upravlja kućom i operatorski panel za kontrolu i nadzor. U programskom alatu TIA portal kreiran je operatorski panel, izrađen program i uspostavljena komunikacija između PLC uređaja i operatorskog panela za kontrolu i nadzor. Testiranje je napravljeno na simulacionom ekranu. U izradi zadatka korišćen je Siemens SIMATIC S7-1200 PLC.

Fazi logika i fazi skupovi su se pokazali kao prirodno rešenje za upravljanje grejanjem i hlađenjem na osnovu temperatura. U ovom radu je odrađena priprema za fazi upravljanje time što se od ulaza razmatra samo trenutna i zadata temperatura.

Daljom nadogradnjom softvera je moguće upotpuniti fazi upravljanje. Moglo bi se posmatrati više ulaza, npr. vremenska prognoza za narednih nekoliko dana, da li je neka prostorija na sunčanoj strani kuće, vremenski interval kada se kuva, koliko je ljudi u prostoriji itd. Na osnovu toga bi se upravljalo grejanjem i hlađenjem.

## 6. LITERATURA

- [1] Članak o pametnim kućama  
<http://pametne-kuce.rs/komfor>
- [2] F. Kulić: „Inteligentni upravljački sistemi“, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2014
- [3] Specifikacija Programabilnih logičkih kontrolera  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att\\_106119/v1/s71200\\_system\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf)
- [4] Predavanje o programabilnim logičkim kontrolerima  
<http://elektronika.elfak.ni.ac.rs/FILES/sandra.djosic/4%20plc.pdf>
- [5] Primena i programiranje programabilnih logičkih kontrolera  
<https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/et-industrijska-elektronika/wp-content/uploads/sites/137/2018/03/PRIMENA-I-PROGRAMIRANJE-mitsubishi-PLCova-FX3S.pdf>

### Kratka biografija:



**Tijana Pavlović** rođena je u Valjevu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Totalno integrisani sistemi automatskog upravljanja odbranila je 2021.god.  
Kontakt: [tijanaa95@yahoo.com](mailto:tijanaa95@yahoo.com)



**PRORAČUN HOSTING CAPACITY-A U SREDNJENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI****CALCULATION OF THE HOSTING CAPACITY IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK**

Nataša Ljubojev, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu prikazan je pristup za određivanje Hosting Capacity-a u distributivnoj mreži. Cilj je da se ispita uticaj različitih faktora na Hosting Capacity, kao što su različiti indeksi performansi, njihova ograničenja, ali i uticaj proizvodnje i potrošnje. Verifikacija problema izvršena je na srednjenaponskoj distributivnoj mreži od 15 čvorova.

**Ključne reči:** Distribuirana proizvodnja, Hosting Capacity, Distributivna mreža

**Abstract** – This paper present the approach for Hosting Capacity calculation in the distribution network. The goal is to investigate the impact of different factors on the Hosting Capacity, as index performances, their limits and impact of generation and load. Verification of results was carried out on medium voltage network with 15 buses.

**Keywords:** Distribution generation, Hosting Capacity, Distribution network

**1. UVOD**

Uvođenje distribuirane proizvodnje utiče na performanse distributivne mreže. Odnosno, dodavanje nove proizvodnje ili potrošnje u distributivnu mrežu utiče na tokove snaga, kvalitet napona, struju kratkog spoja i druga svojstva mreže.

Distribuirana proizvodnja pruža brojne prednosti, jer može smanjiti prenos energije između regiona elektroenergetskog sistema i neravnotežu energije u svakom regionu, dok, takođe, može omogućiti ravnomernu raspodelu celokupnog sistema, tako što brzo reaguje na promenu zahteva.

S druge strane, preterana penetracija distribuirane proizvodnje u električne mreže može dovesti i do različitih problema i narušavanja operativnih ograničenja, kao što su prenaponi i podnaponi, prekomerni gubici na vodovima, preopterećenja transformatora i vodova, kvara zaštite i visokog nivoa harmoničnih izobličenja koji prelaze ograničenja međunarodnih standarda.

Veoma bitno pitanje za industriju distributivne mreže je količina distribuirane proizvodnje koju određena distribu-

tivna mreža može apsorbovati bez ikakvih narušavanja radnih ograničenja u pogledu napona, opterećenja komponenti i snage kratkog spoja. Stoga je osnovno pitanje kako postojeći distributivni sistemi treba da se prilagode na dodavanje više distribuiranih izvora energije bez neprihvatljivih negativnih uticaja na potrošače i performanse mreže.

Na ova pitanja utiče niz različitih faktora, kao što su struktura distributivne mreže, zavisnost od lokacije generatora i, konačno, neizvesnosti koje sa sobom donosi distribuirana proizvodnja.

Kao odgovor na prethodno pomenute probleme i pitanja, koji će odlučiti kada treba prihvatiti ili odbiti novu integraciju distribuiranih generatora (DG) u postojeću distributivnu mrežu, uveden je koncept "Hosting Capacity", koji je i tema ovog rada. Razumevanje ovog koncepta može pomoći operatorima da donesu odluke u vezi sa zahtevima za međusobno povezivanje kako bi osigurali pouzdan rad sistema.

**2. HOSTING CAPACITY**

Hosting Capacity je maksimalna količina proizvodnje ili potrošnje koja se može dodati na određenu lokaciju, fider, na deo elektroenergetskog sistema ili na elektroenergetski sistem u celini, a da ne dođe do prekoračenja jednog ili više operativnih limita, koji se mogu nazvati indeksima performansi [1].

**2.1 Indeksi performansi**

Svaka pojava na koju utiče dodavanje DG-a (napon, struja, zaštita itd.) mora se modelovati nizom indeksa performansi koji će imati definiciju svojih granica, tj. prihvatljivo odstupanje. Hosting Capacity je zasnovan na tome. To znači da izbor indeksa performansi i ograničenja ima veliki uticaj na količinu distribuirane proizvodnje koja se može priključiti.

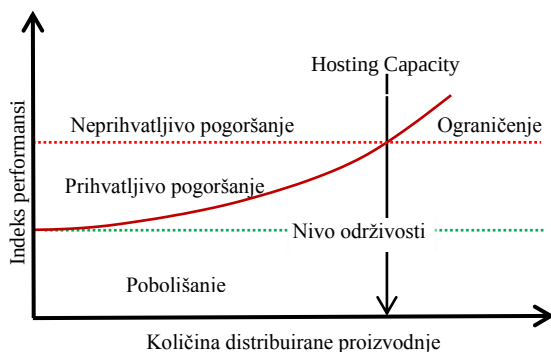
U nekim slučajevima performanse mreže će se poboljšati nakon povezivanja distribuirane proizvodnje, a u drugim slučajevima će se pogoršati za povezane potrošače. Pogoršanje napajanja nije direktno briga, sve dok je rezultirajući kvalitet u prihvatljivom opsegu. Drugim rečima, za svaki indeks performansi postoji ograničenje koje ne bi trebalo da bude prekoračeno. Prekoračenje može dovesti do preopterećenja komponente, skraćivanja radnog veka komponenti ili, u najgorem slučaju, dovodi do kvara sistema [1].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Andrija Sarić, red. prof.

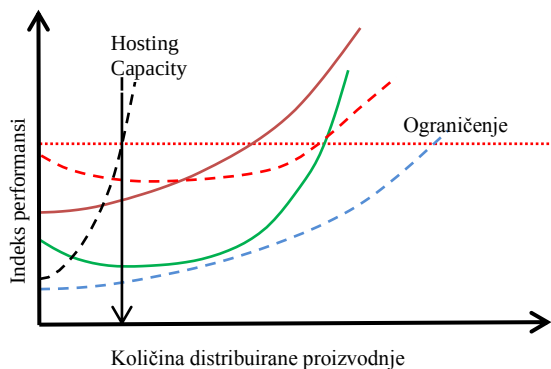
Hosting Capacity se definiše kao količina distribuirane proizvodnje za koju performanse postaju neprihvatljive.

U praksi se definišu mnogi indeksi performansi, tako da niža vrednost odgovara boljim performansama. Ovo je ilustrovano na slici 2.1. Kako se iznos proizvodnje povećava, indeks performansi se pogoršava. Hosting Capacity je, ne kada performanse počnu da se pogoršavaju, već kada pogoršanje postane neprihvatljivo.



Slika 2.1 Hosting Capacity pristup [1]

Postoji više indeksa performansi koje treba uzeti u obzir prilikom priključivanja distribuiranih izvora u distributivni sistem u cilju definisanja Hosting Capacity-a. To su: naponske granice, preopterećenje voda, ograničenja transformatora, obrnuti tokovi snaga na regulacionoj sklopki transformatora, granice zaštite - kratki spojevi, kvalitet napona (flikeri, harmonici) i drugi. Moguće je uzeti u obzir jedan ili više indeksa performansi, u zavisnosti od toga koji se efekti distribuirane proizvodnje žele detaljnije ispitati. Na slici 2.2 prikazan je Hosting Capacity za slučaj kada se uzima u obzir više indeksa performansi i njihovih ograničenja. Najniži od ovih Hosting Capacity-a predstavlja maksimalan kapacitet koji se može dodati sistemu pre nego što se moraju uložiti dodatne investicije [2].



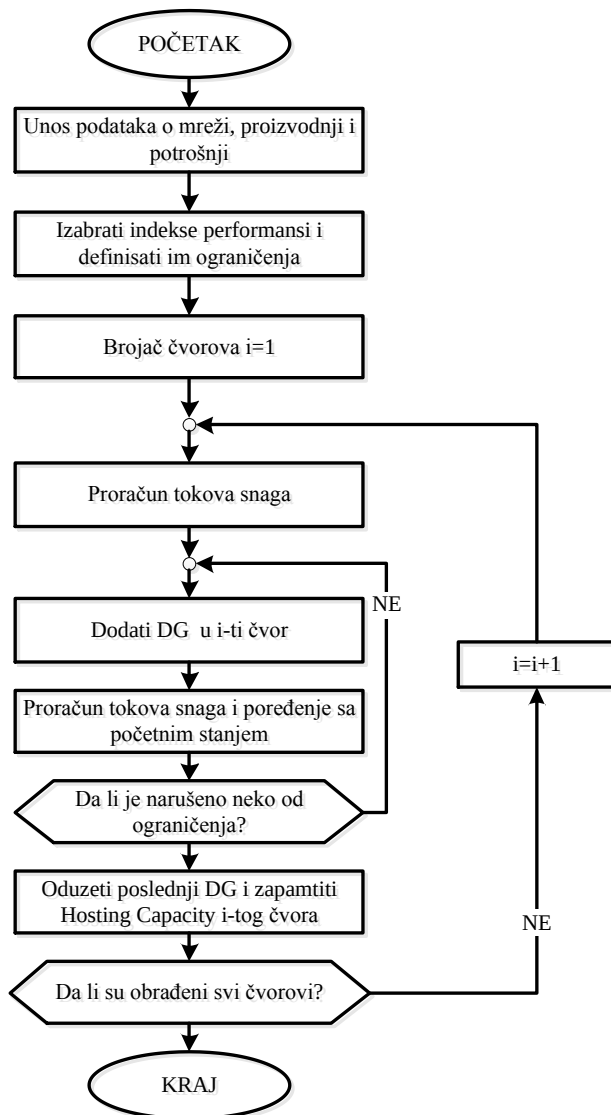
Slika 2.2 Hosting Capacity za više indeksa performansi [2]

### 3. ALGORITAM ZA PRORAČUN HOSTING CAPACITY-A

Blok dijagram algoritma za proračun Hosting Capacity-a po čvorovima je prikazan na slici 3.1. Hosting Capacity se računa za svaki čvor postepenim povećavanjem količine DG-a u malim inkrementalnim koracima (npr. 1 kW, 10 kW...) u svakom čvoru dok se ne naruši jedan od indeksa performansi. Analiza tokova snaga vršiće se nakon svakog dodavanja DG-a. Napon, struja i snaga se

porede sa maksimalnom dozvoljenom vrednošću nakon svakog proračuna tokova snaga, kako bi se proverilo da li mreža još uvek ima kapacitet za veću penetraciju. Nakon svakog dodavanja DG-a u čvor, treba uporediti nova stanja napona i struja sa početnim stanjem (a ne sa prethodnim nižim stanjem DG-a) topologije mreže bez ikakve penetracije DG-a. Ako nije narušeno nijedno ograničenje, DG će se dodavati i svi proračuni će se ponoviti. Dodavanje DG-a će se nastaviti sve dok ne bude prekoračeno jedno od definisanih ograničenja.

U slučaju da je došlo do prekoračenja, količina distribuirane proizvodnje u tom čvoru smanjuje se za jednu veličinu inkrementalnog koraka i poslednja vrednost pri kojoj nisu bila narušena ograničenja će se smatrati Hosting Capacity-em u čvoru koji se trenutno razmatra. Nakon toga se prelazi na naredni čvor, određuje se Hosting Capacity za njega i tako za sve čvorove mreže.



Slika 3.1 Blok dijagram za proračun Hosting Capacity-a

#### 3.1. Odabir ograničenja za indekse performansi

Indeksi performansi koji će se koristiti u ovom radu su ograničenja napona, strujna ograničenja vodova i ograničenja transformatora.

**Ograničenje napona** - Specificirano je da naponi treba da ostanu u 10 % nazivnog napona tokom 95 % vremena godišnje kako bi se izbegli problemi sa stabilnošću i

kvarovi na mreži. Da bi to postigli, operatori tokom faze planiranja koriste kriterijume za statički porast napona:

$$\Delta V \leq \epsilon_{max} \quad (3.1)$$

gde je uzeto da je  $\epsilon_{max}$  3 % za srednjenaponsku mrežu.

$\Delta V$  je odstupanje napona po čvoru od napona nakon što je injektiranje DG-a umanjeno za napon istog čvora tokom početnog scenarija bez DG-a. Takođe, ni pad napona se sme da bude veći od 3 % [3].

#### Strujna ograničenja voda

Što se tiče vodova u distributivnoj mreži, u skladu sa transformatorima, postoji nekoliko maksimalnih vrednosti po struji koje se ne smeju premašiti, kako bi se izbeglo oštećenje nekoliko komponenti u mreži ili kratki spojevi. Za ova ograničenja postoji nekoliko prikaza koji se odnose ili na struje kroz vodove, ili na očigledna ograničenja snage. U ovoj formulaciji usvojena je reprezentacija prividne snage i kao rezultat ograničenje se može izraziti formalno kao:

$$S_{ij} = \sqrt{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2} \leq S_{ij}^{max} \quad (3.2)$$

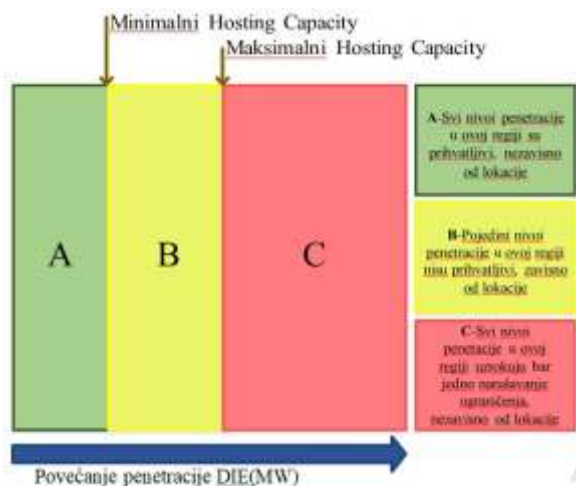
#### Ograničenje transformatora

Da se ne bi pogoršao preostali životni vek transformatora, prividni tok snage kroz prenosni transformator mora biti manji ili jednak maksimalnom prividnom ograničenju snage na osnovu nominalnih vrednosti. Ograničenje se može izraziti formalno kao:

$$S_{TR} = \sqrt{P_{TR}^2 + Q_{TR}^2} \leq S_{TR}^{max} \quad (3.3)$$

### 3.2 Hosting Capacity fidera

Hosting Capacity fidera nije pojedinačna vrednost. Generalno, mogu se definisati tri regije, kao što je prikazano na slici 3.2



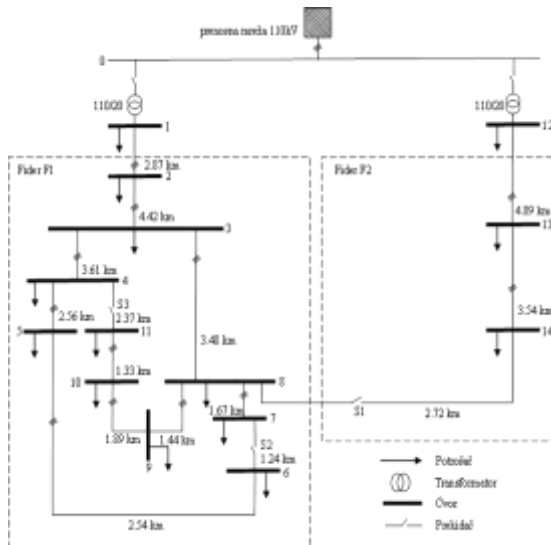
Slika 3.2 HC fidera [4]

Regija (A) uključuje sve nivoje penetracije koji ne izazivaju narušavanje ograničenja, bez obzira na lokaciju DG-a. Regija (B) pokazuje nivoje penetracije koji su prihvatljivi na određenim mestima duž fidera. Regija (C) uključuje sve nivoje penetracije DG-a koji nisu prihvatljivi, bez obzira na lokaciju DG-a. Granica između

(A) i (B) je definisana kao minimalna vrednost Hosting Capacity -a, a granica između (B) i (C) je definisana kao maksimalna vrednost Hosting Capacity-a.

### 4. VERIFIKACIJA PRORAČUNA

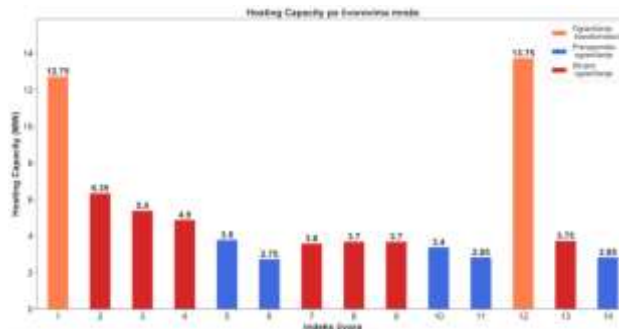
Svi proračuni su se izvodili na CIGRE srednjenaponskoj distributivnoj mreži, koja je prikazana na slici 4.1.



Slika 4.1 CIGRE distributivna test mreža [5]

#### Primer 1

U prvom primeru računa se Hosting Capacity po svim čvorovima mreže. Generatori rade sa jediničnim faktorom snage. Proračun se vrši za slučaj kada je proizvodnja maksimalna, a potrošnja minimalna. Ograničenja napona su  $\pm 3\%$ , dok su strujna i ograničenje transformatora 50 %. Rezultati proračuna su prikazani na slici 4.2.

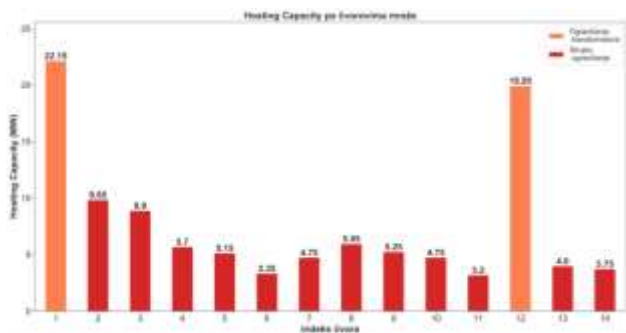


Slika 4.2 Hosting Capacity po čvorovima mreže za primer 1

U čvorovima 1 i 12 može da se priključi najveća snaga DG-a, a da ne dođe do narušavanja ograničenja transformatora. Najmanje vrednosti Hosting Capacity-a su dobijene u čvorovima 5, 6, 10, 11 i 14, jer su to čvorovi koji su najudaljeniji od transformatora, pa će u njima najpre doći do porasta napona. U preostalim čvorovima će najpre doći do narušavanja strujnog ograničenja, što je posledica toka aktivne snage od DG-a ka mreži.

#### Primer 2

U drugom primeru se računa Hosting Capacity po svim čvorovima mreže. Generatori rade sa jediničnim faktorom snage. Proračun se vrši za slučaj kada je proizvodnja minimalna, a potrošnja maksimalna. Rezultati proračuna su prikazani na slici 4.3.

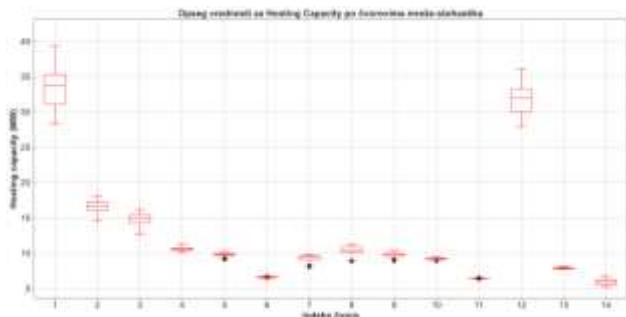


Slika 4.3 Hosting Capacity po čvorovima mreže za primer 2

U ovom primeru dobijene su dosta veće vrednosti Hosting Capacity-a po čvorovima mreže, jer je potrošnja maksimalna, a proizvodnja minimalna. Samim tim, snaga će se uzimati iz mreže i teći ka nižem naponu, što opterećuje vodove i najčešće dolazi do narušavanja strujnog ograničenja. U čvorovima 1 i 12 će, kao i u prethodnom primeru, najpre doći do narušavanja ograničenja transformatora.

### Primer 3

U ovom primeru se računa Hosting Capacity po svim čvorovima mreže. Generatori rade sa jediničnim faktorom snage. Proračun se vrši za različite kombinacije proizvodnji i potrošnji koje se biraju primenom Monte Carlo metode. Ograničenja napona su  $\pm 5\%$ , dok su strujna i ograničenje transformatora 100 %. Rezultati proračuna po čvorovima prikazani su na slici 4.4.



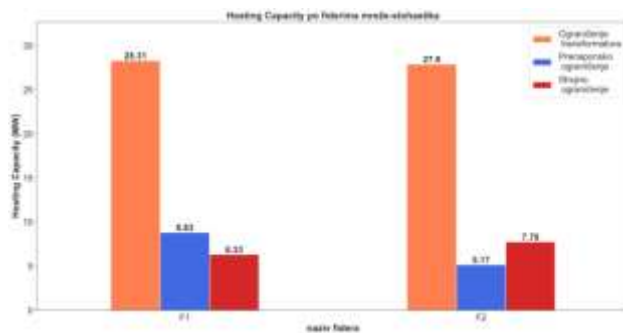
Slika 4.4 Opseg vrednosti za Hosting Capacity po čvorovima mreže

Može se primetiti da su vrednosti Hosting Capacity-a po svakom čvoru predstavljene kao opseg različitih vrednosti, jer su proračuni rađeni za različita stanja mreže, ali su i vrednosti mnogo veće, jer su dozvoljena ograničenja veća.

Nakon što se odredi Hosting Capacity po čvorovima mreže, moguće je odrediti i Hosting Capacity po fiderima, za šta su se koristile minimalne vrednosti Hosting Capacity-a po svim čvorovima mreže. Rezultati se mogu videti na slici 4.5, a u tabeli 4.1 su predstavljenje vrednosti Hosting Capacity-a fidera po različitim regijama.

Tabela 4.1 HC po fiderima mreže za primer 3

| Regija | Regija A    | Regija B | Regija C    |
|--------|-------------|----------|-------------|
| Fider  | Min HC (MW) | HC (MW)  | Max HC (MW) |
| F1     | 6.33        | 8.83     | 28.31       |
| F2     | 5.17        | 7.76     | 27.90       |



Slika 4.5 Hosting Capacity po fiderima mreže za primer 3

## 5. ZAKLJUČAK

Hosting Capacity nije pojedinačna vrednost koja se može izračunati jednom. Trebalo bi ga redovno proveravati za različite indekse performansi. Treba odrediti minimalnu vrednost Hosting Capacity po svakom čvoru za procenu Hosting Capacity-a fidera ili sistema. Minimalni Hosting Capacity se dobija pri maksimalnoj proizvodnji i minimalnoj potrošnji, dok se maksimalni Hosting Capacity dobija pri minimalnoj proizvodnji i maksimalnoj potrošnji. Hosting Capacity je, takođe, koncept koji zavisi od lokacije na kojoj se DG priključuje. Drugim rečima, što je čvor bliže transformatoru, jača je njegova sposobnost za priključivanje veće količine DG-a, odnosno, veći je Hosting Capacity. Obično se previsoki naponi javljaju kada su DG povezani na većim udaljenostima od trafostanica, gde je veći porast napona. Preopterećenje mrežnih komponenta, kao što su vodovi i transformatori, postaje ograničavajući faktor kada su DG priključeni blizu trafostanice tako da previsok napon nije problem.

## 6. LITERATURA

- [1] M. Bollen, F. Hassan: „Integration of distributed generation in the power system“, *IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, New Jersey, 2011.
- [2] N. Etherden, M.H.J. Bollen, S. Ackeyby, O. Lennerhag, „The transparent hosting capacity approach - overview, applications and developments“, *The 23-rd Int. Conf. Electr. Distrib.*, 2015, pp. 1e5.
- [3] C. Antonakopoulos: „Investigation of the distribution grid hosting capacity for distributed generation and possible improvements by Smart Grid technologies“, *Master Thesis*, Zurich, September 2016
- [4] M. Seidaliseifabad: „Hosting capacity assessment of distribution systems“, *PhD Dissertation*, Faculty of Engineering and Information Technology The University of Sydney, March 2020.
- [5] CIGRE, Benchmark systems for network integration of renewable and distributed energy resources. *Task Force C6.04.02*, 2014. ISBN: 978-285-873-270-8.

### Kratka biografija:



Nataša Ljubojev rođena je u Tuzli 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranila je 2021.god.  
kontakt: natasa992@gmail.com



**AUTOMATIZACIJA PROCESA ANALIZE PODATAKA I OBUČAVANJA MODELA ZA PREDIKCIJU STOPE SAMOUBISTAVA****AUTOMATING THE DATA ANALYSIS AND MODEL TRAINING PROCESS FOR SUICIDE RATE PREDICTION**

Aleksandar Stanić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U okviru ovog rada opisani su softverski moduli kreirani TDD procesom razvoja, poštujući SOLID principe. Oni su namenjeni automatizaciji određenih koraka ka kreiranju kvalitetnog prediktivnog modela kako bi se rešio problem predikcije stope samoubistava po državama.

**Ključne reči:** TDD, SOLID principi, mašinsko učenje, prediktivni model,

**Abstract** – This paper describes software modules created following the TDD implementation process, respecting the SOLID principles. These modules are intended to automate certain steps towards creating a machine learning model that predicts suicide rates by countries.

**Keywords:** TDD, SOLID principles, machine learning, predictive model

**1. UVOD**

Velika većina problema iz oblasti nauke sa podacima koji su vezani za kreiranje prediktivnih modela, rešava se na skoro približan način. On započinje samim prikupljanjem skupova podataka, njihovom obradom i analizom, pa zatim treniranjem prediktivnih modela na osnovu predhodno preprocesiranih podataka. Isti slučaj je bio i u radu [1] gde su Boris Bibić, Marko Katić i autor teksta rešavali problem predikcije stope samoubistava na državnom nivou. Koraci koji su tamo bili primenjivani predstavljaju vodilje ka kreaciji softverskih modula i samog problemsko-specifičnog softverskog rešenja, a sam problem predikcije stope samoubistava bice iskorišćen kao test slučaj kako bi se ispitali rezultati softverskog rešenja.

Tema ovog rada jeste kreiranje prediktivnog modela na osnovu predhodno analiziranih i procesovanih obeležja, odnosno kreiranje softverskih modula uz pomoć koji se dolazi do odgovarajućeg prediktivnog modela.

Kreiranje softverskog rešenja se vrši preko Test Driven Development [2] pristupa razvoja softvera poštujući tzv. SOLID principe [3]. Sa ovim pristupom razvoja aplikacije, njena arhitektura postaje razumnija, lakša za modifikaciju i lakša za proširivanje.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Kovačević, vanr. prof.

Uz pomoć spomenutih softverskih modula, biće implementirano specifično softversko rešenje koje koristi spomenute module i automatizuje i generalizuje proces analize i predikcije problema sličnih problemu vezanog za predikciju stope samoubistava (gde su kao obavezne kolone svakog skupa podataka kolone koje reprezentuju godinu i državu). A samim drugačijim korišćenjem tih modula i dodavanjem novih implementacija apstrakcija unutar njih, moguće je napraviti novo softversko rešenje u svrhe rešavanja neke druge grupe problema. Ovakvo softversko rešenje će kao rezultat korisniku olakšati proces rešavanja problema i dati mu informacije potrebne za kreiranje najboljeg mogućeg modela ili pak dobru smernicu ukoliko je potrebno to rešiti ručno.

Neobrađeni skupovi podataka prikupljeni u radu [1] iskorišćeni su i u ovom radu. Takvi skupovi podataka su dodatno analizirani i obrađeni pred njihovo spajanje u zajednički skup podataka. Analizu predstavlja ispitivanje kvaliteta samih podataka skupa i proveru pripadnosti kolona koje predstavljaju godinu i državu koje su bile potrebne za mogućnost spajanja skupova podataka. Obradu podataka predstavlja isecanje skupa u izabranom opsegu godina, dopunu nedostajućih redova skupa, kako bi svi skupovi imali jednaki broj redova za svoje parove godina-država, kao i dopunu nedostajućih vrednosti sa jednom od metoda koji će kasnije biti opisani.

Spojeni skup podataka se dodatno procesira kako bi mogao biti korišćen od strane prediktivnih algoritama. Nakon čega se nad njim primenjuju algoritmi za redukciju dimenzionalnosti kao što su Low Variance Filter [4], Random Forest [5], Principal Component Analysis [6] i Factor Analysis [7].

Sa tako redukovanim skupovima podataka, kao i sa originalom trenirani su prediktivni regresioni algoritmi: Decision Tree [8], Random Forest, Multiple Linear Regression [9], Partial Least Squares Regression [10], Elastic Net Regression [11] i XGB Regression [12]. Tačnost modela ispitana je sa metrikom pronalaska koeficijenta determinacije [13] i srednjim kvadrantom greške. Rezultati o najznačajnijim varijablama modela su ispitani preko Feature Importance informacije Random Forest i XGB regresionih algoritama.

**2. METODOLOGIJA**

U ovom poglavlju biće prikazani koraci koji za rezultat imaju kreaciju prediktivnog modela. Takodje, uz svaki korak biće ukratko opisan i softverski modul implementiran za rešavanje njegovog problema.



## 2.1. Unos podataka u aplikaciju

Zbog raznolikosti struktura skupova podataka sa kojima se radilo, nemoguće je napraviti softversko rešenje koje će pokriti sve slučajeve nepravilnosti u strukturi skupa podataka, ili jednostavno problema nekonzistentnosti između više skupova podataka. Stoga, odlučeno je da će prvi modul čija je odgovornost unos skupova podataka imati preduslov sa kojim se mogu navoditi koje su obavezne kolone koji svaki skup podataka mora sadržati. Dok, sve probleme kao što su na primer semantička tačnost podataka unutar skupa ili način na koji su predstavljene nedostajuće vrednosti biti dužnost korisnika da validira pred unos skupa podataka u softver. Za obavezne kolone su izabrane kolone koje predstavljaju godinu i ISO3 kod države.

Prikaz trenutno unetih skupova podataka unutar softverskog rešenja je zadatak posebnog softverskog modula. Ono za ulaz dobija učitane podatke sa svojim nazivima, a kao izlaz daje izgenerisanu reportažu korisniku u određenom formatu, u ovom slučaju je izabrano kao tekstualni prikaz unutar terminala.

## 2.2. Prikaz statistike skupova podataka

Još jedan deo koji se ne može automatizovati jeste proces eksplorativne analize. Ali, ono što je moguće uraditi jeste generisati određenu statistiku skupova podataka korisniku kako bi mu se olakšao sam taj proces analize. To predstavlja ulogu narednog softverskog modula.

Rezultat njegovog izvršavanja predstavlja Excel datoteku (takođe i ovdje može biti drugi format prikaza rezultata) sa podacima za svaki učitani skup podataka.

Od informacija korisnik dobija na uvid nazive kolona skupa podataka, opseg godina obuhvaćenih podacima, broj država obuhvaćenih podacima, srednju vrednost za kolonu godina, njenu standardnu devijaciju i varijansu, ukupan broj podataka za svaku neobaveznu kolonu (konkretno kolone koje nisu kolona godina i kolona ISO3 kod države), kao i broj nedostajućih podataka i sam procenat nedostajućih podataka u odnosu na ukupan broj podataka tih kolona. Naravno, svaka od ovih statistika predstavlja implementaciju određene apstrakcije unutar spomenutog modula, što znači moguće je u budućnosti dodati implementacije novih statistika. Važno je napomenuti da se preko softverskog rešenja koji koristi ovaj modul definisalo za koju kolonu se na primer generisala statistika opsega podataka (kolona godina u ovom specifičnom slučaju).

## 2.3. Brisanje skupova podataka / brisanje njihovih kolona po određenom kriterijumu

Kako postoji mogućnost unosa skupova podataka u aplikaciju, potrebno je korisniku omogućiti i brisanje istih iz aplikacije. Taj zadatak kao i zadatak filtera kolona svih skupova podataka po određenom kriterijumu su dodeljeni novom softverskom modulu.

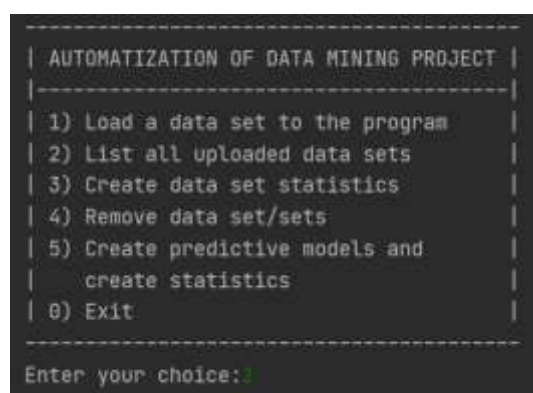
Drugi zadatak daje mogućnost korisniku da obriše kolone skupova podataka ukoliko nisu zadovoljile jedan od kriterijuma: ukoliko je broj unikatnih vrednosti kolone manji od određenog broja ili ukoliko je procenat nedostajućih podataka u koloni veći od neke granične vrednosti. Jedini specijalan slučaj predstavlja situaciju

kada je obrisana kolona jedna od obaveznih kolona ili jedina od neobaveznih kolona jednog skupa podataka, onda se ceo skup podataka briše iz aplikacije.

Izbor kolona koji ulaze u proveru korisnik odabira tokom rada na aplikaciji.

## 2.4. Obrada skupova podataka kao priprema za proces spajanja u zajednički skup

Ulaskom u petu stavku menija softverskog rešenja (slika 1) korisnik započinje proces kreiranja prediktivnog modela. Prvi korak ovog procesa predstavlja obradu skupova podataka, kako bi oni međusobno bili konzistentni sa aspekta pokrivenosti jednakog broja država i opsega godina. Ovo je neophodno iz razloga što će se u budućem koraku svi skupovi podataka morati svesti na jedan skup (spojeni skup), a u ovom specifičnom slučaju to će se vršiti na osnovu kolona: godina i ISO3 kod države.



Slika 1. Prikaz početnog menija specifičnog softverskog rešenja

Stoga, prvi korak u tom procesu jeste izbor najoptimalnijeg opsega godina koji će se dalje uzeti u obzir. Opseg godina korisnik sam zaključuje i to na osnovu statistike kreirane u trećoj stavci menija (opisano u 2.2), ali isto tako i statistike o kojoj će sada biti reči. Nakon što je korisnik uneo opseg godina, započinje proces obrade skupova podataka. Prvo se svi skupovi podataka odsecaju tako da svi sadrže redove sa zajedničkim skupom ISO3 koda države, pa se zatim odsecaju redovi sa godinama koje ne spadaju u traženi opseg. Ovaj posao je odraden od strane softverskog modula implementiranog samo u te svrhe. Njegov rezultat daje skupove podataka sa određenim brojem nedostajućih redova za par ISO3 kod države-godina.

Kako bi svi skupovi podataka imali isti broj redova u sebi (kako bi obuhvatali sve parove ISO3 kod države-godina), izgenerisani su redovi za svaki skup podataka ponaosob. Takav red u sebi sadrži traženi par obaveznih kolona i prazne vrednosti za ostale kolone. Za ovo je takođe napravljen poseban softverski modul.

Uz pomoć novonastalih skupova podataka i modula za generisanje statistika, nova statistika biva generisana. Sa tom statistikom korisnik sistema imaće još bolji uvid koliko je dobar njegov izbor. Zatim, korisniku se daje upit da li je zadovoljan nakon ponovne analize da nastavi dalje ili da se vrati na prvi korak i izabere novi opseg godina i ponovi proces kreacije skupova podataka.

## 2.5. Dopuna nedostajućih vrednosti obrađenim skupovima podataka

Pre procesa spajanja skupova podataka ostaje još jedan korak, ne toliko bitan za samo spajanje podataka, ali bitan za buduću kreaciju prediktivnih modela i korišćenja algoritama za redukciju dimenzionalnosti, a to je dopuna nedostajućih vrednosti sa ne Null vrednostima.

Ovaj korak započinje sa korisnikovim unosom maksimalnog procenta nedostajućih podataka unutar obrađenog skupa koje on smatra zadovoljavajućim za dalji rad. Uz pomoć modula za brisanje kolona skupa podataka, sve kolone koje sadrže veći procenat od unetog biće obrisane. Što je veći procenat, veći deo podataka mora biti dopunjen kao nedostajuća vrednost, što može ugroziti originalnost podataka.

Svaki skup podataka ima drugačiju semantiku, stoga nije moguće automatizovati proces punjenja nedostajućih vrednosti bez da se obezbedi korisniku da za svaku kolonu skupova podataka sam izabere način na koji će da joj se popune te vrednosti. Dostupni načini koje korisnik može izabrati su: punjenje ćelija sa 0 brojnomo vrednosti, minimalnom brojnomo vrednosti te kolone, maksimalnom brojnomo vrednosti te kolone, srednjom brojnomo vrednosti te kolone, tekstualnom konstantom, punjenje uz pomoc višestruke linearne regresije (gde se model trenira sa podacima koje nemaju nedostajuće vrednosti) i punjenje uz pomoc logistic regresije.

## 2.6. Spajanje skupova podataka

Spajanje obrađenih skupova podataka se vrši na osnovu dve kolone: kolona godina i kolona ISO3 kod države. Naravno, implementacija nam omogućava da navedemo bilo koji skup kolona po kojim se žele spojiti skupovi podataka. Zbog test problema za koji se pravi softversko rešenje su iskorišćene spomenute kolone.

## 2.7. Preprocesiranje spojenog skupa podataka

Prediktivni algoritmi za vrednosti svakog obeležja zahtevaju numeričku vrednost. Pošto u spojenom skupu podataka postoje obeležja sa tekstualnim vrednostima potrebno je izvršiti enkodovanje podataka. Enkodovanje je izvršeno uz pomoc One Hot enkodera.

Takođe, modul zadužen za preprocesiranje omogućava podelu skupova podataka (X-prediktorski skup, Y-skup predikcione varijable) na trening i test skupove.

## 2.8. Redukcija dimenzionalnosti

Zbog novonastalog preprocesiranog skupa podataka koji sadrži enkodovane tekstualne kolone sa One Hot enkoderom, rodila se potreba da se prediktivni algoritmi, pored redovnog skupa treniraju i sa skupovima podataka redukovanim od strane algoritama redukcije dimenzionalnosti.

Implementacija modula namenjenog u te svrhe je vršena na drugačiji način u odnosu na predhodno spomenute module. TDD pristup razvoja nije se mogao primeniti. Razlog tome je priroda algoritama redukcije dimenzionalnosti, odnosno njihova nepredvidivost. Stoga, na osnovu iskustva prilikom implementacije predhodnih modula, kreiran je modul namenjen za redukciju dimenzionalnosti. Na osnovu ulaznog preprocesiranog skupa, softverski modul generiše novi

skup podataka za svaki redukcionni algoritam primenjen na originalnom skupu. Redukcionni algoritmi koji su korišćeni su Low variance filter, PCA, Random Forest i Factor Analysis. Pored redukovanih skupova podataka, modul generiše i reportažu u vidu Excel dokumenta koji sadrži za svaki redukcionni algoritam informaciju o broju varijabli pre i posle njegove primene. Kao kod svakog drugog modula, moguće je proširiti broj algoritama koji će se koristiti kao algoritmi za redukciju dimenzionalnosti.

## 2.9. Treniranje prediktivnih modela

Softverski modul koji radi sa prediktivnim modelima je implementiran na isti način kao i predhodno spomenuti modul za redukciju dimenzionalnosti, znači ne koristeći TDD pristup razvoja. Razlog je isti, nepredvidivost rezultata treniranih modela nije dalo za mogućnost da se može unapred znati rezultat, te napisati i test za isti.

Algoritmi koji su korišćeni kao implementacija apstrakcije modula zaduženog za kreaciju prediktivnih modela su: Decision Tree, Random Forest, Multiple Linear Regression, Partial Least Squares Regression, Elastic Net Regression i XGB Regression. A sam proces treniranja modela kod većine algoritama prepusten je klasi GridSearchCV iz sklearn.model\_selection biblioteke. GridSearchCV je implementacija koja nam uz pomoć unakrsne validacije prilikom treniranja modela omogućava automatizovanje procesa traženja optimalnog skupa parametara potrebnih treniranom modelu.

## 2.10. Validacija modela

Za potrebe validacije modela kreiran je poseban softverski modul koji u svoj ulaz metode validacije dobija dve liste podataka: stvarne vrednosti i prediktovane vrednosti, a kao rezultat vraća informaciju koliki su rezultati ostvareni za svaku metriku greške. Pošto je test problem stope samoubistava regresione prirode, za metrike greške su korišćeni koeficijent determinacije i srednji kvadrant greške. Kao i kod svakog modula, moguće je dodati nove implementacije metrika greške ukoliko za to bude bilo potrebe.

## 2.11. Pronalazak najznačajnije promenljive prediktivnog modela

U svrhe pronalaska najznačajnijih promenljivih modela isprobana su četiri načina. Prvi od njih je da se značajnost neke promenljive pronađe preko koeficijentata linearne regresije, drugi preko PCA Loading rezultata, a preostala dva načina pokrivaju feature\_importance funkcionalnost Random Forest i XGBoost regresije.

# 3. REZULTATI

## 3.1. Rezultati prediktivnih modela

Rezultati koji će biti prikazani predstavljaju rezultat koji je dobijen na osnovu odluke korisnika da nakon obrade podataka (sa koraka predstavljenim u poglavlju 2.5) želi da nastavi sa maksimalnom tolerancijom na 20% nedostajućih podataka.

Najbolji rezultati su se pokazali kod modela istreniranih sa originalnim spojenim skupom podataka koji je u sebi sadržao 153 varijable. Prosečna tačnost tih modela iznosi za  $R^2$  86,5% tačnosti, a MSE 0,084. Najbolje se pokazao

Random Forest algoritam sa 98,8% tačnosti za  $R^2$  meru i 0,007 za MSE. Dok, XGBoost završio sa najlošijim rezultazima od svega 43,6% tačnosti za  $R^2$  i 0,352 za MSE. Ostali modeli za neredukovani skup podataka u proseku su imali 94,1% za  $R^2$  i 0,036 za MSE.

Rezultati modela na osnovu dimenziono redukovanih skupova podataka dala je dosta lošije rezultate. Jedini izuzetak predstavlja Low Variance filter koji je sa parametrom granične vrednosti od 20% dao najbolji rezultat od 93,7% za  $R^2$  i 0,039 za MSE. Tačnost kod ostalih modela nije prelazila 45% za  $R^2$  i nije bila manja od 0,35 za MSE.

### 3.1. Najznačanije varijable prediktivnog modela

Za otkrivanje najznačajnijih varijabli problema stope samoubistava jedino su metode od strane Random Forest i XGBoost algoritma dale konkretne rezultate.

Za najznačajniju varijablu modela Random Forest je izabrao stopu plodnosti sa nešto više od 20% uticaja na odluku o izboru prediktivne vrednosti. Između 10% i 15% uticaja imaju varijable koje označavaju depresivne poremećaje, pitanje da li je država Šri Langa i poremećaj upotrebe alkohola i supstanci. Što su rezultati veoma slični kao u radu [1].

## 4. ZAKLJUČAK

Najbolji rezultati dobijeni su sa originalnim skupom podataka i Random Forest Algoritmom. Njegove predikcije imaju tačnost od 98,9% za  $R^2$  i 0,007 za MSE. Takođe, ostatak algoritama, sem XGBoost-a su pokazali dobre rezultate na originalnom skupu podataka. Modeli trenirani na osnovu redukovanih skupova podataka nisu dobili dobre rezultate. Ovo u neku ruku i ima smisla, jer samom redukcijom podataka gube se potencijalno bitne informacije za trenirani model. Takođe, sama primena algoritama za redukciju dimenzionalnosti je više namenjena za skupove podataka koji imaju i po par miliona varijabli, u cilju izbegavanja pretreniranosti modela ili radi poboljšanja performansi samog trenižnog procesa imajući u vidu da će to rezultirati malo lošijim predikcijama. U posmatranom test slučaju kreiranja modela za predikciju stope samoubistava, spojeni skup podataka sadržao je „svega” 153 varijable. Trenižni proces je takođe bio brz, stoga, benefiti redukcije dimenzionalnosti nisu pogledali svetlost dana kod ovog problema. Za analizu najznačajnijih varijabi uzeta je u obzir reportaža Random Forest algoritma.

Modularnost sistema softverskog rešenja i način na koji je on razvijen omogućava proširenja ili izmene na bilo kom njegovom delu. Stoga, mogla bi se izmeniti funkcionalnost od načina kako se učitavaju skupovi podataka (na primer, koje su obavezne kolone), koje će statistike da se prikazuju i na koji način, način dopune nedostajućih vrednosti, pa sve do dodavanja ili izmene algoritama za redukciju dimenzionalnosti, algoritama za predikciju ili novih metrika koje validiraju predikcije modela.

## 5. LITERATURA

- [1] <https://github.com/CodeEatSleepRepeat/Data-Mining/blob/master/izvestaj.pdf> (pristupljeno u maju 2021.)
- [2] <https://www.digite.com/agile/test-driven-development-tdd/> (pristupljeno u maju 2021.)
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/SOLID> (pristupljeno u maju 2021.)
- [4] <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/04/beginners-guide-to-low-variance-filter-and-its-implementation/> (pristupljeno u maju 2021.)
- [5] <https://towardsdatascience.com/the-mathematics-of-decision-trees-random-forest-and-feature-importance-in-scikit-learn-and-spark-f2861df67e3> (pristupljeno u maju 2021.)
- [6] <https://heartbeat.fritz.ai/understanding-the-mathematics-behind-principal-component-analysis-efd7c9ff0bb3> (pristupljeno u maju 2021.)
- [7] Factor Analysis - Yong, A. G., & Pearce, S. (2013). A beginner's guide to factor analysis: Focusing on exploratory factor analysis. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, 9(2), 79-94.
- [8] <https://medium.com/swlh/decision-tree-regression-and-its-mathematical-implementation-58c6e9c5e88e> (pristupljeno u maju 2021.)
- [9] Seber, G. A., & Lee, A. J. (2012). *Linear regression analysis* (Vol. 329). John Wiley & Sons.
- [10] <http://www.imm.dtu.dk/~perbb/MAS/ST116/module03/module.pdf> (pristupljeno u maju 2021.)
- [11] <https://towardsdatascience.com/from-linear-regression-to-ridge-regression-the-lasso-and-the-elastic-net-4eaecaf5f7e6> (pristupljeno u maju 2021.)
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=OtD8wVaFm6E> (pristupljeno u maju 2021.)
- [13] <https://medium.com/@erika.dauria/looking-at-r-squared-721252709098> (pristupljeno u maju 2021.)

### Kratka biografija:



**Aleksandar Stanić** rođen je u Vrbasu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarstva i automatike –Sistemi za istraživanje i analizu podataka odbranio je 2021.god.  
kontakt: [sale96@protonmail.com](mailto:sale96@protonmail.com)

**UPOTREBLJIVOST SIGURNOSNIH MEHANIZAMA VEB APLIKACIJA****USABILITY OF WEB APPLICATION SECURITY MECHANISMS**

Dragana Mihajlović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu su prikazani osnovni principi online plaćanja i balans između upotrebljivosti i sigurnosti. Predstavljeni su načini autentifikacije za koje korisnici smatraju da su najjednostavniji i najsigurniji te su predstavljeni zahtjevi koji se moraju ispoštovati za poslovanje na Internetu. U eksperimentalnom dijelu analizirane su dvije aplikacije za obavljanje transakcija te vrijeme potrebno za njihovo izvršavanje. Opisane su prednosti i mane aplikacija kao i poboljšanja koja su potrebna da se implementiraju za bolju sigurnost i upotrebljivost.

**Glavne reči:** korisnički interfejs, bezbednost, upotrebljivost, ranjivost, KLM-GOMS.

**Abstract** – This paper explains the basic concepts of online payment and the balance between usability and security. The methods of authentication that users consider to be the simplest but also the most secure are presented as well as the requirements that must be met for doing business on the Internet. In the experimental part, two applications for performing transactions and the time required for their execution were analyzed. The advantages and disadvantages of applications as well as the improvements needed to be implemented for better security and usability are described.

**Keywords:** user interface, security, usability, vulnerability, KLM-GOMS.

**1. UVOD**

Savremeni način života donosi brz tempo te prelazak na digitalno plaćanje naglo raste posebno uzimajući u obzir činjenicu o rastu prekogranične kupovine koja otvara više mogućnosti samim trgovcima ali i potencijalnim kupcima. Razvojem Interneta, evolucija sistema elektronskog plaćanja je još više napredovala.

Pored e-trgovine sve više aktuelna je i m-trgovina koja predstavlja sprovođenje aktivnosti koje su i finansijske i promotivne prirode uz pomoć mobilnih telefona ali uključuju i upotrebu drugih bežičnih uređaja.

Fleksibilan i upotrebljiv interfejs je potrebno postići uz poštovanje svih propisanih i zahtjevanih standarda koje je potrebno ispoštovati u cilju postizanja sigurnosti transakcija i ličnih podataka klijenata.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Ivetić, red. prof.

**2. NAČINI PLAĆANJA NA INTERNETU**

Da bi poslodavci uspjeli na današnjem globalnom tržištu i da bi se izborili protiv stranih konkurenata, moraju svojim kupcima ponuditi atraktivne uslove prodaje podržane odgovarajućim načinima plaćanja. Neki od korišćenih načina plaćanja na Internetu su [1]: elektronske platne kartice, elektronski čekovi, elektronski keš, elektronski novčanici, P2P plaćanja, plaćanje vaučerima, mikroplaćanja, mobilna plaćanja, sistemi zasnovani na zlatu i kriptovalute. Za svaku metodu (npr. kreditne kartice) postoji više opcija (Visa, Mastercard i American Express, i druge). Generalno, postoji više od 200 alternativnih načina plaćanja širom svijeta.

**2.1. Elektronske platne kartice**

Plaćanje kreditnim karticama postaje sve popularnije. Razlog za ovo jeste što se kartice mogu koristiti na bilo kojoj lokaciji uz ispunjavanje određenih uslova. Za plaćanja na Internetu mogu se koristiti svi tipovi platnih kartica. Bez obzira na tip kartice, proces realizacije plaćanja je sličan. Ključnu ulogu u sistemu plaćanja ima *payment gateway* koji predstavlja ekvivalent terminalu na fizičkom mjestu prodaje (POS). *Payment gateway* omogućava autorizaciju platnih kartica i siguran transfer informacija između mjesta plaćanja preko Interneta (veb-sajt, mobilna aplikacija i sl.) i procesora plaćanja odgovarajuće banke. *Payment gateway* enkripcijom štiti osjetljive informacije s kreditnih kartica. Najbitnija karakteristika platnih kartica jeste *real time* autorizacija transakcije. Podaci su organizovani na način da je korisniku omogućen lak i jednostavan uvid u podatke koji su potrebni prilikom *online* plaćanja. Segmetni koji se izdvajaju olakšavaju korisniku prikaz podataka koji su mu od interesa u trenutku u kojem su mi potrebni.

**2.2. Elektronski novčanici**

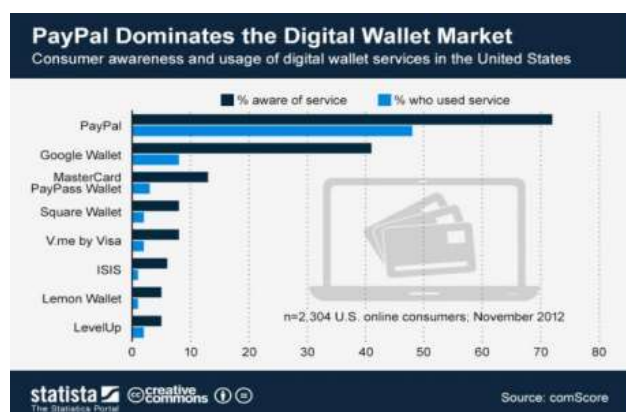
Elektronski novčanici (*E-wallet*) su aplikacije koje predstavljaju unapređenje standardnih načina plaćanja, kao što su kartice ili transfer preko banke. Zasnivaju se na nalogima korisnika koji su otvoreni kod provajdera elektronskog novčanika. Nakon uplate depozita, korisnik može da kupuje na veb-sajtovima, tako što se uloguje na svoj elektronski novčanik. Digitalni novčanik posjeduje softversku komponentu i komponentu podataka. Softver obezbeđuje sigurnost i enkripciju vezanu za lične podatke i aktuelne transakcije. Komponenta podataka sadrži podatke kao što su adresa dostave, adresa računa, metode plaćanja (broj kreditne kartice, datum isteka, sigurnosni brojevi) i druge informacije. Najznačajniji provajderi elektronskog novčanika su Google i PayPal. Elektronski novčanici omogućavaju i slanje i primanje novca od drugih osoba na jednostavan način ali prednost koja se



ističe jeste dostupnost *e-wallet*-a 24/7 za razliku od banaka koje imaju svoje radno vrijeme. Tradicionalni novčanici su podložni fizičkoj krađi koja je jako česta za razliku od *e-wallet*-a. Takođe, e-novčanici omogućavaju privatnost lozinki kao i *two step* autentifikaciju ali i biometrijsku autentifikaciju. Upotreba aplikacija za mobilno plaćanje i elektronskih novčanika se vremenom sve više povećava te stoga raste potražnja za poboljšanim korisničkim iskustvom tokom interakcije sa ovim aplikacijama.

Oblast interakcije čovjek-računar (*Human computer interaction*) fokusira se na dizajn, evaluaciju i primjenu interaktivnih računarskih sistema za ljudske potrebe. Jedan aspekt *HCI*-a je upotrebljivost, tj. kvalitet interakcije sa aplikacijom ili sistemom. Aplikacije za mobilno plaćanje obično imaju komplikovanije funkcije od prosječnih aplikacija za pametne telefone. Funkcije tih aplikacija se tiču novca te potražnja za upotrebljivost i dobar dizajn koji daje osećaj sigurnosti je veći.

Kako se navodi u radu *E-wallet - designed for usability* [2] koncept e-novčanika i njegovih funkcija su pokazali da zbunjuju mnoge korisnike sa kojima se vršilo testiranje. Korisnici su imali poteškoća da razumiju kako se čuvaju valute i kako se same transakcije odvijaju. Potrebno je uvesti novu terminologiju koja je bliska velikom broju korisnika i svesti funkcionalnosti na način koji bi korisnicima bio intuitivan, tj. potrebno je da se ispoštuje deseti Nilsenov princip - Nalikovati stvarnosti. Takođe, potrebno je veliku količinu informacija predstaviti jasno, na minimalistički način. Ovo su samo neke od stvari koje se moraju ispoštovati kako bi aplikacija mogla da radi u okruženju sa ljudima koji nemaju ranija iskustva sa e-novčanicima. Prema *Com Score*-u [3] studiji samo 51 procenat potrošača koji su odgovorili je ikada čulo za digitalnu uslugu plaćanja koja nije *PayPal*, a samo 12 procenata potrošača je ikada koristilo jednu takvu aplikaciju. Usluga plaćanja *PayPal*-om trenutno je ispred konkurencije u pogledu svijesti i upotrebe potrošača i čini se malo vjerovatnim da bilo koja od konkurentskih usluga može uskoro da smanji taj jaz (Slika 1).



Slika 1. Pregled zastupljenosti servisa *e-wallet*-a [3]

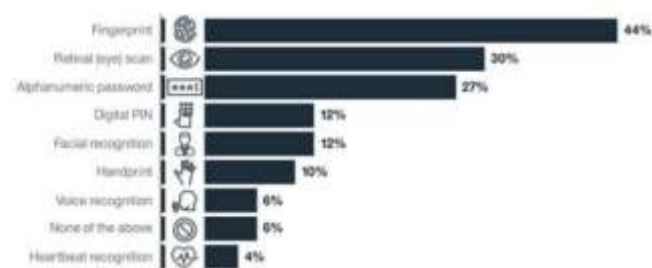
### 3. RAZVOJ AUTENTIFIKACIJE I AUTORIZACIJE

Povjerenje je nešto na čemu se zasnivaju ljudski odnosi, te autentifikacija datira mnogo prije od dostupnih dokumenata koji o njoj govore. Razvoj Interneta i informaciono-komunikacionih tehnologija dovodi do

digitalnog doba u kojem su problemi sa transakcionim metodama autentifikacije pojačani. Kako se navodi u studiji kompanije *IBM Security*, koja ispituje pogled potrošača u vezi sa digitalnim identitetom i autentifikacijom, ljudi daju prednost sigurnosti, a ne pogodnosti kada se prijavljuju u aplikacije i uređaje te se biometrija smatra sigurnijom od lozinki. Bezbednost je u pomenutoj anketi visoko rangirana kao glavni prioritet za bankarstvo.

U prosjeku je 70% anketiranih izabralo bezbednost kao glavni prioritet, a 16% odabralo je privatnost, dok je 14% odabralo pogodnost. Za aplikacije na društvenim mrežama prioriteti su se skoro izjednačili - pogodnost (36 procenata), zatim bezbednost (34 procenta) i privatnost (30 procenata).

Istraživanje je takođe ispitalo mišljenja potrošača o sigurnosti različitih metoda prijave i otkrilo je da se na određene vrste biometrije gleda kao na sigurnije od lozinki, ali sigurnost i privatnost i dalje ostaju glavna briga kada je u pitanju usvajanje biometrije. Čak je 44 procenata ispitanih biometriju otiska prsta rangirao kao jedan od najsigurnijih načina autentifikacije, dok lozinke i PIN-ovi smatrani manje sigurnim (Slika 2). Najveća briga ljudi kod biometrijske potvrde identiteta bila je privatnost (55 procenata) i sigurnost.



Slika 2. Zastupljenost metoda autentifikacije

### 4. DIZAJNIRANJE FORMI ZA PLAĆANJE KREDITNOM KARTICOM

Prilikom dizajniranja formi za plaćanje kreditnom karticom radi maksimalne upotrebljivosti potrebno je obratiti pažnju na niz stvari. Prije svega je potrebno identifikovati minimalne podatke koji su potrebni za obradu uplate i sve drugo osim toga treba eliminisati. Što manje informacija je potrebno manja je vjerovatnoća da će korisnik pogriješiti a samim tim i vrijeme koje je potrebno za obavljanje plaćanja je manje i korisnici su zadovoljniji. Na primjer, neke forme za plaćanje putem Interneta zahtijevaju unos imena vlasnika kartice a neke ne. Ime koje je navedeno na kartici se ne koristi prilikom obrade uplate i stoga ga treba eliminisati.

Takođe, još jedna stvar koju je potrebno ukloniti jeste i polje za unos tipa kreditne kartice. Naime, tip kreditne kartice se može identifikovati na osnovu prve cifre broja kartice. Ako je u pitanju cifra 4 riječ je o *Visa* kartici, ako je cifra 6 riječ je o *Discover* kreditnoj kartici, cifra 5 govori o *MasterCard* kartici dok cifra 3 na prvom mjestu identifikuje *American Express* karticu. Potrebno je takođe spriječiti moguće greške automatskom provjerom podataka. Nije potrebno čekati da korisnik inicira plaćanje klikom na dugme da bi se prikazala poruka o neispravnom unosu broja kreditne kartice.



## 5. ANALIZA SIGURNOSTI I UPOTREBLJIVOSTI DVA NAČINA PLAĆANJA KOJA PRUŽA NLB BANKA U BiH

Mobilno bankarstvo NLB mKlik je usluga koja omogućava brz, jednostavan i siguran pristup računima klijenta putem mobilnog telefona koji ima pristup Internetu. Koristeći mobilno bankarstvo moguće je vršiti transakcije u bilo kom trenutku gdje god se korisnik nalazi. Za korišćenje mKlika potrebno je da korisnik posjeduje odgovarajući mobilni uređaj koji ispunjava neophodne tehničke i telekomunikacione uslove.

Za sam početak korišćenja potrebno je da korisnik bude klijent banke, tj. da ima kreiran račun u banci. Na osnovu statusa klijenta banke korisnik stiče mogućnost za korišćenje aplikacije za mobilno bankarstvo. Nakon potpisivanja ugovora, u roku od 24 časa klijent prima dva aktivaciona koda: jedan putem SMS-u a drugi putem mejla koji je klijent naveo u banci. NLB eKlik je usluga elektronskog bankarstva koja omogućava korisniku, fizičkom licu, da sa bilo kog mjesta gdje ima pristup internetu, 24 časa dnevno, bez čekanja u redovima, na siguran, brz i jednostavan način izvrši plaćanje svojih obaveza, prenos novca sa transakcionog na štedni račun, izvrši devizno plaćanje, kupovinu, prodaju ili konverziju valuta uz minimalne naknade, uvid u stanje i promjene na računu u domaćem i deviznom platnom prometu, pregled i štampu izvoda. Korisniku je omogućeno dobijanje informacija o stanju i promjenama na svim računima u banci (transakcionom, deviznom štednom, kreditnom i kartičnom).

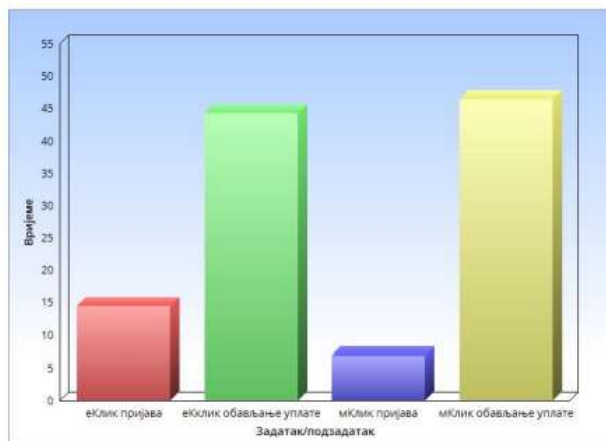
### 5.1. Procjena efikasnosti

Za procjenu efikasnosti mKlik-a i eKlik-a za zadatak je izabrano prijavljivanje u sistem i izvršavanje nove transakcije kao najreprezentativnije funkcionalnosti ovih aplikacija. Vršenje nove transakcije je omogućeno na devizni račun, štedni račun, već sačuvan šablon, putem skeniranja i popunjavanjem uplatnice. Nakon odabranog načina i popunjavanjem forme, omogućen je prikaz uplatnice prije konačne potvrde. Nakon potvrde, proces se završava a korisnik se obaveštava o uspjehnosti transakcije.

### 5.2. Rezultati analize

Urađena je analiza zadatka kombinovanjem miša i tastature ali i upotrebom isključivo tastature. Rezultati analize eKlik aplikacije pokazuju da se zadatak najbrže obavlja upotrebom isključivo tastature (58.61 sekunde). Sljedeći rezultat jeste kombinovanje miša i tastature prilikom prijavljivanja i popunjavanje uplatnice isključivo putem tastature (61.73 sekunde). Treći rezultat za obavljanje ovog zadatka jeste prijavljivanje putem tastature a popunjavanje uplatnice kombinovanjem miša i tastature (64.58 sekunde). Najviše vremena za obavljanje opisanog zadatka jeste prijavljivanje i popunjavanje uplatnice kombinovanjem miša i tastature. Za obavljanje istog zadatka putem mKlik aplikacije potrebne su 53.36 sekunde. Može se zaključiti da je vrijeme izvršavanja uplate na drugi račun putem mKlik aplikacije kraće od vremena izvršavanja uplate putem eKlik aplikacije u bilo kom od prethodno opisanih slučajeva. Međutim, treba uzeti u obzir da forme nisu identične iako se radi o istom

zadatku. Adresa primaoca je dodatno polje koje se koristi ako se uplaćivanje vrši putem mobilne mKlik aplikacije. Takođe, podjeljenost formi u više segmenata i iniciranje dugmeta za nastavak popunjavanja uplatnice su dodatni faktori koji su uticali na skoro izjednačavanje ovih vremena. Na Slici 3 se može vidjeti odnos vremena koje je potrebno da bi se korisnik prijavio na sistem preko eKlik i mKlik aplikacija kao i odnos vremena koje je potrebno da se obavi zadatak uplate na drugi račun. Prikazani su najbolji rezultati analize eKlik i mKlik aplikacija.



Slika 3. Odnos vremena potrebnog za obavljanje definisanog zadatka

Svaka mBanking aplikacija zahtjeva mobilni ili tablet uređaj, dok za eBanking je potreban desktop računar ili laptop. Mobilno bankarstvo zahtjeva od korisnika da na svom pametnom telefonu preuzme zvaničnu aplikaciju odgovarajuće banke da bi koristio širok spektar usluga koje banka nudi. U slučaju transakcija sa 3D Secure zaštitom korisnik se redirektuje na drugu stranicu na kojoj unosi dodatni sigurnosni kod što se rezultuje dužim vremenom za obavljanje transakcije. U slučaju mKlik aplikacije sam pristup telefonu je zaštićen (šablon, pin, otisak prsta, ili prepoznavanje lica) te se mogućnost pristupu transakcionim podacima smanjuje.

S druge strane, na eKlik aplikaciji kao veb aplikaciji korisniku je data mogućnost čuvanja lozinke i korisničkog imena. Ako je korisnik sačuvao ove podatke stečena je mogućnost prijavljivanja na eKlik nalog čime su svi transakcioni podaci i mogućnost obavljanja transakcija izloženi zloupotrebi.

Korišćenjem mKlik aplikacije korisnik ima veći osjećaj sigurnosti i kontrole. Korisnik, takođe, ima osjećaj posjedovanja aplikacije i samim tim osjećaj pri radu je mnogo pozitivniji u odnosu na eKlik aplikaciju u kojoj se korisnik nalazi na sajtu banke. Dobra implementacija opcija *Undo* i *Redo* korisniku daje veću slobodu upoznavanja sa aplikacijom i mogućnostima koje ona nudi.

Veb aplikacija, eKlik, u mnogo većoj mjeri je ispoštovala deseti Nilsenov princip „Nalikovati stvarnosti“ jer sam interfejs podsjeća za stvarnu situaciju (Slika 4). S druge strane mKlik aplikacija nije ispoštovala ovaj princip jer je uplatnica izdvojena po segmentima prilikom popunjavanja forme.

Slika 4. Izgled uplatnice na eKlik aplikaciji

## 6. NFC TEHNOLOGIJA

Svi današnji pametni telefoni opremljeni su tzv. *NFC* (*Near Field Communication*) tehnologijom. Radi se o uobičajenoj bežičnoj tehnologiji koja se razvila zahvaljujući rastu sistema za plaćanje putem Interneta. *NFC* kao i *Bluetooth* i *Wi-Fi* radi na principu slanja informacija preko radio talasa. Danas jedna od najčešćih upotreba *NFC*-a su identifikacione kartice za pristup određenim mjestima poput poslovnih zgrada i privatnih garaža. *NFC* plaćanja su izuzetno sigurna i za razliku od podataka na kartici sa magnetnom trakom, koja je statična, podaci koji su uključeni u *NFC* transakciju su šifrovani i dinamični.

Prednosti koje nudi *NFC* plaćanje su viši stepen sigurnosti, brže obavljanje plaćanja kao i smanjen trošak elektronike, međutim, ograničenja koja postoje su rad u kratkim dometima te je mala brzina prenosa podataka. Iako su *NFC* transakcije sigurnije od standardnog plaćanja kreditnom karticom ova tehnologija nije potpuno bez rizika. Hakeri mobilnih telefona su razvili načine neovlašćenog pristupa ličnim finansijskim podacima uskladištenim na telefonima te se još uvijek radi na bezbednosti. Takođe, problem koji je češći jeste gubljenje telefona što rezultuje mogućnosti da će vlasnik telefona na kojem se nalaze finansijski podaci biti opljačkan. Upravo zbog ovoga su transakcije sa *NFC* tehnologijom obično ograničene po vrijednosti.

## 7. 3D SECURE 2 - MEĐUNARODNI SIGURNOSNI STANDARD

Za korisnika platne kartice *3D Secure 2* podrazumijeva da se transakcije koje se obavljaju kod Internet trgovaca, koji takođe podržavaju navedeni standard, dodatno potvrđuju jednokratnom lozinkom koju korisnik dobija putem SMS poruke. Internet trgovci koji podržavaju pomenuti protokol su sigurni te je mogućnost zloupotrebe svedena na minimum. U analizi koja se sprovela pokazalo se da transakcije sa *3D* zaštitom zahtijevaju više vremena i korisnikove pažnje. Minimalno dodatno vrijeme koje je potrebno iznosi 11.24 sekunde u idealnom slučaju. Ovaj vid zaštite je svakako korak naprijed kada su u pitanju sigurne transakcije, međutim, reakcija korisnika i nije. Preusmjeravanje kupaca na drugu stranicu može uticati na poslovanje trgovaca i ono je glavna mana korišćenja spoljne usluge za plaćanje. Ovim se smanjuje povjerenje i može se rezultirati napuštenim prodavnicom. Takođe, potrebno je razmotriti koliko koraka kupci moraju da prođu prilikom plaćanja. Loše dizajniran postupak

plaćanja može naštetiti broju prodaja čak i ako trgovci pružaju najbolji proizvod ili uslugu. Ovo se dešava zato što se redirektuje na potpuno drugačiju stranicu te se preusmjeravanjem oduzima prilika za prikazivanje dodatnih ponuda čime se broj potencijalnih kupovina smanjuje. U kontekstu ljudskog osjećaja mKlik aplikacija se pokaza boljom prije svega zbog toga što se koristi posebna aplikacija gdje je sam pristup telefonu zaštićen te je krajnja potvrda transakcije lakša.

## 8. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući sve većoj upotrebi *online* kupovine, sistemi plaćanja preko Interneta postaju dominantan oblik plaćanja. Od elektronskih sistema plaćanja se zahtjeva veća jednostavnost korišćenja, dostupnost i brzina. U budućnosti se očekuje značajnija primjena sistema plaćanja preko Interneta za servise i proizvode koji se realizuju u *G2C* (*Government to Consumer*) i *B2B* (*Business to Consumer*) formama elektronskog poslovanja [4]. Dizajniranje grafičkog korisničkog interfejsa je složen i odgovoran posao posebno ako je potrebno uraditi dizajn za različite tipove korisnika. S druge strane, u sistemima koji su se opisivali mora biti obezbeđena sigurnost podataka kako bi korisnici osjećali prijetnost tokom plaćanja. Analiza je pokazala da forme koje danas postoje nisu najbolje te je potrebno da poslodavci, koji još uvijek sadrže nedostatke koji su navedeni, uklone dijelove formi koji opterećuju korisnika i povećavaju mogućnost za njihove greške. Mobilna mKlik i veb eKlik aplikacija imaju i prednosti i mana. Zajednička prednost svih veb aplikacija jeste mogućnost rada bez obzira na operativni sistem koji ja instaliran na korisnikovom računaru. Danas je korisnički interfejs postao jedan od glavnih segmenata prilikom kreiranja aplikacija. Budući razvoj aplikacija će sigurno više da uključuje potencijalne korisnike koji će predstavljati najvažniju ulogu za unapređenje aplikacija, postojećih i novih proizvoda i usluga.

## 9. LITERATURA

- [1] „Trade”, <https://www.trade.gov/methods-payment> [Datum pristupa: 15.04.2021.]
- [2] „Diva-portal”, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1322382/FULLTEXT01.pdf> [Datum pristupa: 23.04.2021.]
- [3] „Statista”, <https://www.statista.com/chart/873/consumer-awareness-and-usage-of-digital-walletservices> [Datum pristupa: 25.04.2021.]
- [4] „IEEE Citation Guidelines2”, <https://iee-dataport.org/sites/default/files/analysis/27/IEEE%20Citation%20Guidelines.pdf> [Datum pristupa: 10.05.2021.]

### Kratka biografija:



**Dragana Mihajlović** je rođena u Srbini 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarstvo i automatika odbranila je 2021.god.

kontakt: [draganamihajlovic1609@gmail.com](mailto:draganamihajlovic1609@gmail.com)

**GLAVNE KARAKTERISTIKE I KOMPONENTE VETROELEKTRANE U JUGOISTOČNOM BANATU****MAIN CHARACTERISTICS AND COMPONENTS OF THE WIND POWER PLANT IN SOUTHEAST BANAT**Marko Hrnjak, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast-ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** –U radu je razmatrana primena energije vetra za dobijanje električne energije. Predstavljeni su principi rada vetrogeneratora i vetroelektrane. Opisan je projekat jedne vetroelektrane u jugoistočnom Banatu i izvršena procena nivoa energije vetra u toj oblasti. Na osnovu podataka merenja brzine vetra na 60 m visine, urađeni su proračuni za formiranje vetroparka sa turbinama od 3 MW visine kućišta od 110 m. Analizirana je snaga i proizvodnja ovakvog vetroparka i urađena odgovarajuća poređenja.

**Ključne riječi:** Obnovljivi izvor energije, Energija vetra, Vetroelektrane

**Abstract** –The paper discusses the application of wind energy to obtain electricity. The principles of operation of wind generators and wind power plants are presented. The project of a wind farm in southeastern Banat is described and the assessment of wind energy levels in that area is performed. Based on the data of wind speed measurements at 60 m height, calculations were made for the formation of a wind farm with turbines of 3 MW with a hub height of 110 m. The power and production of such a wind farm were analyzed and appropriate comparisons were made.

**Keywords:** Renewable energy source, Wind power, Wind power plants

**1. UVOD**

Sa porastom svetske populacije istovremeno rastu i energetske potrebe. Povećana potrošnja dovodi do stalnog povećanja obima iskorišćavanja fosilnih goriva, koja obezbeđuju više od 85% današnjih potreba za energijom. Međutim, ovi izvori energije (fosilnih goriva) praktično su neobnovljivi. Nekoliko miliona godina taloženja biljaka i životinja bilo je potrebno za njihovo stvaranje, da bi u moderno doba bili korišćeni. Procenjuje se da će nafta, ugalj i prirodni gas, koji predstavljaju ekonomski najprihvatljivija goriva, biti iscrpljena već za 30 do 100 godina. Dakle, sve prirodne reserve bi savremeno čovečanstvo moglo potrošiti za svega oko 300 godina.

Pored toga, radom ovih energetskih postrojenja emituju se velike količine CO<sub>2</sub> i drugih gasova staklene baste. To dovodi do klimatskih promena i ugrožavanja okoline. Ova

pojava značajno utiče na život čoveka, odnosno životna sredina postala je ozbiljno ugrožena i uskoro može doći do ekoloških katastrofa. Rešenje se vidi u intenzivnijem korišćenju postojećih obnovljivih izvora energije, a pre svega energije vetra, vode, sunca, biomase i geotermalne. U ovom radu će se razmatrati mogućnost korišćenja vetroelektrane u jugoistočnom Banatu.

**2. UOPŠTENO O ENERGIJI VETRA I VETROGENERATORIMA**

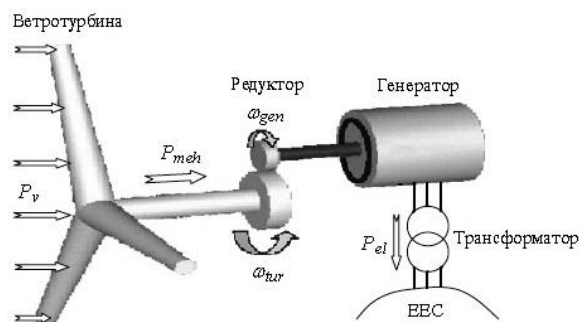
Vetar predstavlja horizontalno strujanje vazдушnih masa nastalo usled temperaturne, odnosno prostorne razlike u vazдушnom pritisku. Nastaje kao posledica neujednačenog zagrevanja atmosfere od strane Sunca, te predstavlja oblik solarne energije. Rezultat je i nepravilnosti Zemljine površine i rotacije Zemlje. Brzine strujanja vetra značajno variraju širom planete i zavise od geografskih činilaca, kao što su oblici reljefa i visinske razlike terena, vodene površine, vegetacija i dr. [1].

Brzina vetra meri se anemometrom ili anemografom (Fusov anemograf), koji meri pravac, srednju i trenutnu brzinu vetra. Sve tri veličine se registruju neprekidno na anemografskoj traci. Detektorski deo anemografa obično se nalazi na 10 m iznad tla, na stubu u krugu meteorološke stanice. U novije vreme merenja podataka o vetru vrše se pomoću digitalnih uređaja za prikupljanje podataka, jer standardni meteorološki podaci zahtevaju dodatne obrade (očitanje) pre primene u vetroenergetici. Energija vetra pokreće vetroturbinu, pa time i rad vetrogeneratora. Vetroturbina je smeštena na samom vrhu noseće konstrukcije i može da se sastoji od jedne ili više lopatica. Najčešće se sastoje od tri lopatice, jer se takva konstrukcija pokazala najefikasnijom [1]. Turbina je vezana na električni generator mehaničkim sklopom, koji uključuje sporu osovinu, reduktor (u stvari, multiplikator brzine), mehaničku kočnicu i brzu osovinu. Principijska šema konverzije energije vetra u električnu u vetroagregatima, koji su priključeni na mrežu prikazana je na slici 1. Generator pretvara mehaničku energiju prenetu sa vetroturbine u električnu energiju, koja predstavlja finalni proizvod rada vetrogeneratora. Ta električna energija se zatim prenosi na električnu mrežu za dalje napajanje. Za to je potrebno ostvariti i vezu između priključka vetrogeneratora i električne mreže. Naponsko prilagođavanje generatora EES-u se ostvaruje pomoću energetskih transformatora, a po pitanju parametara pomoću energetskih elektronskih pretvarača (obično dvostrukih pretvarača tipa AC/DC – DC/AC).

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Vladimir Katić.

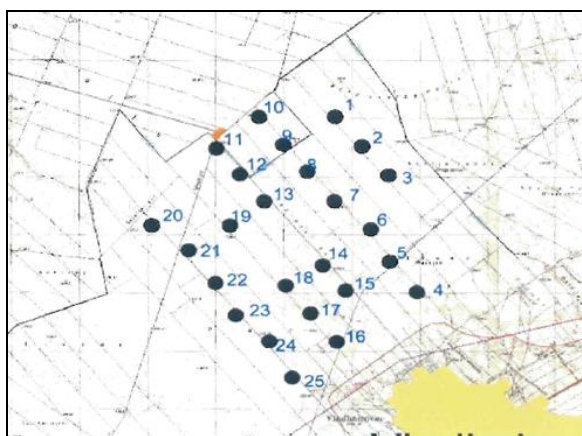




Slika 1. Princip konverzije energije vetra u električnu energiju [2]

### 3. PROJEKAT VETROPARKA U OKOLINI VRŠCA

Okolina Vršca je veoma pogodna za izgradnju vetroparkova, jer je uvršten značajan vetroenergetski potencijal [3]. U proteklom periodu već je izgrađeno nekoliko vetroelektrana (VE), kao što su VE La Picolina (6,6 MW), VE „Košava“ (68 MW), VE „Mali bunar“ (4 MW), VE „Alibunar“ (42 MW), VE „Čibuk 1“ (157 MW) i VE „Kovačica“ (104,5 MW). U ovom radu će biti razmatran novi projekat vetroparka „Alibunar 2“ [3]. Projekat Vetropark (VP) „Alibunar 2“ planiran je da počne sa realizacijom još 2016. godine, kao jedan od prvih i najznačajnijih projekata u Srbiji vezanih za energiju vetra. Projekat je realizovalopreduzeće „WindVision Windfarm B“ d.o.o. VP „Alibunar 2“ na poljoprivrednom zemljištu u K.O. Alibunar i K.O. Vladimirovac sa leve strane državnog puta I A reda br.3 Beograd – Vršac (po staroj kategorizaciji M 1.9), na potezu od km 53+300 do km 55+900 puta. Lokacija za vetropark odabrana je na osnovu detaljnih analiza vetra i reljefa terena. Vetropark „Alibunar“ sastojao se od 25 vetrogeneratora nominalne jedinične snage po 3,0 MW koji svoju punu snagu razvijaju pri brzinama vetra od 11 m/s. Pri optimalnim uslovima ukupna instalisana snaga vetroparka Alibunar je 75 MW [4,5]. Na slici 2. prikazana je šira lokacija vetroparka.



Slika 2. Šira lokacija „Vetroparka Alibunar 2“ [3]

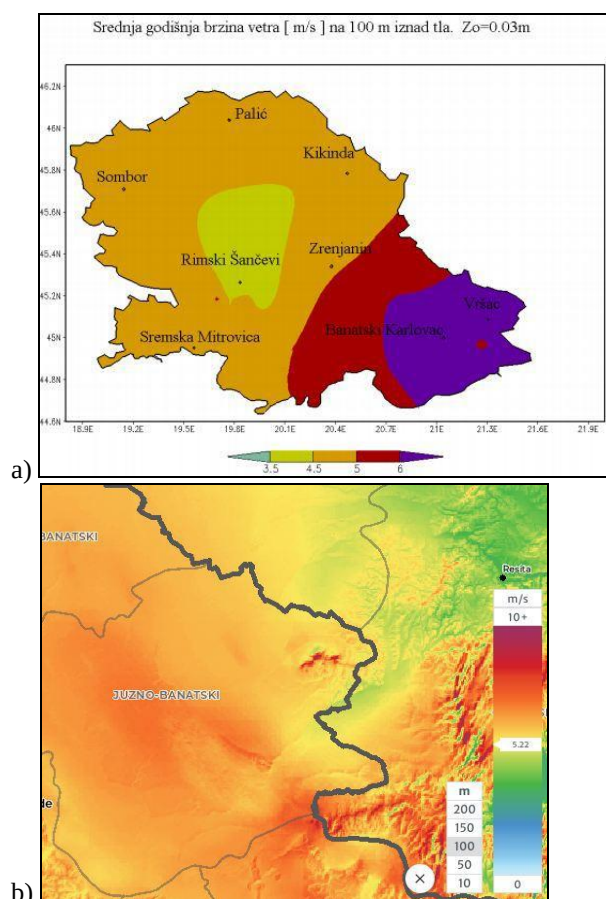
Prostor predviđen za izgradnju vetroparka pokriven je njivama, bez šumske i šumskostepske vegetacije. Eventualnu žbunastu i drvenastu vegetaciju čine pojedinačna stabla i žbunovi kao i pojedini drvoređi uz zemljane puteve. Lokacija na kojoj se planira realizacija vetroparka nalazi se između naselja Vladimirovci i Alibunar i to bliže naselju Vladimirovci od koga je

udaljena oko 2,5 km ka severoistoku. Površina na kojoj se planira vetropark iznosi oko 450 ha, a na njoj nema vodenih površina [3].

## 4. PRORAČUN ENERGETSKIH MOGUĆNOSTI

### 4.1. Proračun brzine vetra

Proizvodnja električne energije dobijena iz vetroelektrana zavisi od brzine vetra na treći stepen, pa je to ključni parameter pri projektovanju. Iz raspoložive literature i softverskih alata može se dobiti vrednost prosečne godišnje brzine vetra na određenoj lokaciji. Na slici 3.a prikazana je prosečna godišnja brzina vetra na visini od 100 m iz studije „Atlas vetrova AP Vojvodine“ sa koje se može videti da je u okolini Vršca ona iznosi preko 6 m/s [4]. Na slici 3.b prikazana je ista brzina iz izvora „Global Wind Atlas“ [5], gde se vidi da je prosečna brzina vetra na 100 m iznosi oko 7,78 m/s. Ovo se uklapa u podatak sa slike 5.a. Ipak, za planiranje proizvodnje vetroelektrane potreban je precizniji podatak, kao i u manjim vremenskim jedinicama.



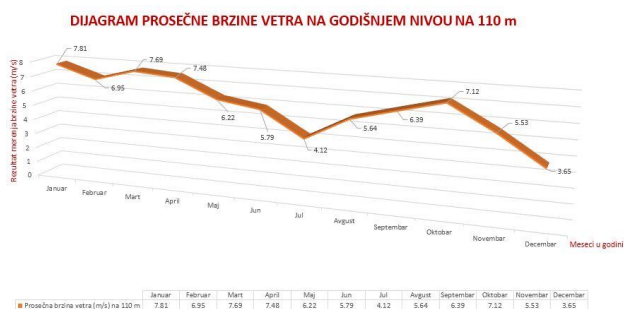
Slika 3. Prosečne godišnje brzine vetra u okolini Vršca na 100 m iznad tla prema: a) „Atlasu vetrova AP Vojvodine“ [4] i b) „Global Wind Atlas-u“ [5]

Na predviđenoj lokaciji za izgradnju vetroelektrane izvršeno je višegodišnje merenje karakteristika vetra na visini od 60 m. Na slici 4 prikazani su rezultati merenja, odnosno prosečna mesečna brzina vetra. Mogu se uočiti standardne sezonske oscilacije brzine vetra, a najniže brzine zabeležene su u julu i decembru. Prosečna godišnja brzina vetra je 5,74 m/s.



Slika 4. Prosečna izmerena brzina vetra na godišnjem nivou na 60 m [3]

Međutim, pošto je kućište planiranog vetrogeneratora je na visini od 110 m potrebno je preračunati brzinu na datu visinu. Za to je iskorišćena poznata logaritamska formula, s tim da je za parameter  $z_0$  uzeto da je  $z_0=0,03$ , što odgovara zaoranom poljoprivrednom zemljištu [1]. Rezultati proračuna dati su na slici 5, na kojoj su prikazane prosečne mesečne brzine vetra tokom jedne godine. Može se uočiti da je dobijena brzina vetra na 110 m iznad tla, na godišnjem nivou veća za oko 8% od merene na 60 m. Sada je prosečna godišnja brzina vetra jednaka  $v_{SR}=6,2$  m/s. To se uklapa u podatak iz “Atlasa vetrova AP Vojvodine”, ali je nešto niže od očitavanja iz “Global Wind Atlas-a”, kao i u shvatanje da su najbolja mesta za postavljanje vetroelektrane ona gde su prosečne brzine vetra od 8 m/s do 10 m/s.



Slika 5. Prosečna proračunata brzina vetra na godišnjem nivou na 110 m

## 4.2. Proračun snage vetra

Uz brzinu vetra, obično se daje podatak o gustini snage vetra, što je pogodno za izbor vetroturbine. Na osnovu podataka sa slike 5 i primenom izraza

$$P_v/A = 6/\pi \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \quad (1)$$

dobija se prikaz mesečnih vrednosti ove veličine, gde je  $P_v$  je snaga vetra,  $A$  je površina obuhvata lopatica turbine,  $\rho$  koeficijent gustine vazduha, a  $v$  brzina vetra. Izračunavanjem se dobija gustina snage vetra sa prosečnim mesečnim vrednostima od  $55,8 \text{ W/m}^2$  -  $563,2 \text{ W/m}^2$ , odnosno godišnjom vrednosti  $311,7 \text{ W/m}^2$ . Za odabir snage vetroturbine u sklopu vetroelektrane potrebno je proračunati srednju snagu vetra na zahvatu vetrogeneratora. Snaga se izračunava iz izraza:

$$P_{vSR} = 6/\pi \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_{SR}^3 \quad (2)$$

Uvrštavanjem vrednosti merenja iz [3] i uz pretpostavku izbora vetroturbine snage 3 MW sa lopaticama od 55 m u Tabeli 1 data je snaga vetra  $P_v$  na mesečnom i godišnjem nivou. Vidi se da je srednja godišnja vrednost snage vetra 2,94 MW, što opravdava izbor vetroturbine od 3 MW.

## 4.3. Proračun snage i energije vetrogeneratora

Mehanička snaga na osovini vetroturbine  $P_t$  zavisi od karakteristike turbine, koja se može podeliti u 4 zone: 1 – polazna  $P_{t1}=0$  ( $0 < v < v_{in}$ ), 2 – radna  $P_{t2}=f(v)$  ( $v_{in} < v < v_n$ ), 3 – nominalna  $P_{t3}=P_n$  ( $v_n < v < v_{out}$ ) i 4 – zaustavna  $P_{t4}=0$  ( $v > v_{out}$ ). U radnom delu snaga turbine definisana je koeficijentom snage turbine  $C_p$ , pa je sada

$$P_{t2} = C_p \cdot P_v = 6/\pi \cdot \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3)$$

Obično se teži da turbina radi sa maksimalnom snagom ( $C_{pmax}$ ), pa se izraz (3) može napisati kao

$$P_{t2} = C_{pmax} \cdot P_v = K \cdot v^3 \quad (4)$$

Na osnovu podataka proizvođača, uzeto je da je  $C_{pmax}=0,45$ , pa je radna karakteristika kubna zavisnost od brzine vetra. Prosečne snage turbine date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Snaga vetra i vetrogeneratora na visini 110m

| Mesec               | Prosečna snaga vetra [MW] | Prosečna snaga vetroturbine [MW] |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Januar              | 5,35 MW                   | 2,41 MW                          |
| Februar             | 3,63 MW                   | 1,63 MW                          |
| Mart                | 4,96 MW                   | 2,23 MW                          |
| April               | 4,58 MW                   | 2,06 MW                          |
| Maj                 | 2,67 MW                   | 1,20 MW                          |
| Jun                 | 2,10 MW                   | 0,95 MW                          |
| Jul                 | 0,78 MW                   | 0,35 MW                          |
| August              | 1,91 MW                   | 0,86 MW                          |
| Septembar           | 2,85 MW                   | 1,28 MW                          |
| Oktobar             | 4,01 MW                   | 1,81 MW                          |
| Novembar            | 1,87 MW                   | 0,84 MW                          |
| Decembar            | 0,53 MW                   | 0,24 MW                          |
| Sred. god. vrednost | 2,94 MW                   | 1,32 MW                          |

Međutim, u realnim uslovima relacija (4) nije ispunjena, jer  $C_p$  nije konstantno, već funkcija koeficijenta brzohodnosti  $\lambda$  (tip-speed ratio) i ugla zakrenutosti lopatica  $\beta$ . Koeficijent brzohodnosti definisan je sa:

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot R}{v} \quad (5)$$

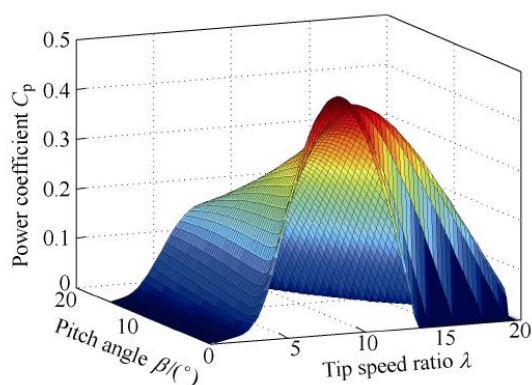
gde je  $\omega_r$  ugaona brzina obrtanja turbine (u [rad/s]),  $n$  brzina obrtanja ili broj obrtaja u minuti (u [1/min]),  $R$  dužina lopatica, a  $v$  brzina vetra. Zakrenutost lopatice koristi se u regulaciji snage turbine i to obično pri radu u trećoj, nominalnoj zoni. Na slici 6 prikazana je kompleksnost ove zavisnosti, gde se vidi uticaj oba parametra [6]. Može se uočiti da se za  $\lambda=7$  i  $\beta=0$  postiže maksimalni faktor snage, koji za ovaj tip turbine iznosi  $C_{pmax}=0,4$ .

Iz (5) se vidi da koeficijent brzohodnosti zavisi od brzine vetra, pa kriva snage u radnoj zoni odstupa od kubnog zakona datog sa (4), tj. definisana je sa (3) ili

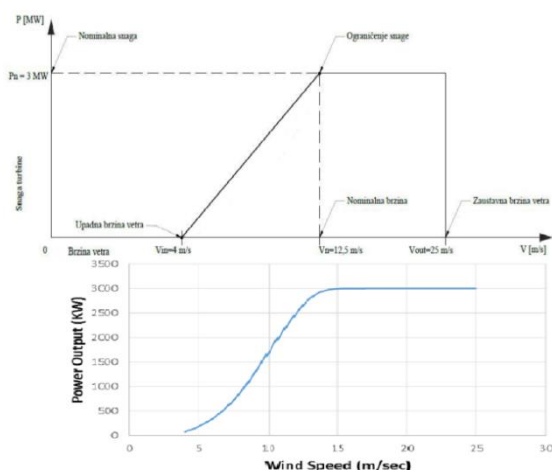
$$P_{t2} = C_p(\lambda, \beta) \cdot P_v = 6/\pi \cdot \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (6)$$

Sada ona ima oblik više kao istegnuta „S“ kriva, kako je pokazano na slici 7 (dole). To omogućava njenu linearnu aproksimaciju u radnoj zoni (slika 7 - gore), pa se sada karakteristika snage vetroturbine može napisati kao:





Slika 6. Zavisnost faktora snage of ugla zakrivljenosti lopatica  $\beta$  i koeficijenta brzohodnosti  $\lambda$  [6]



Slika 7. Kriva snage vetroturbine 3.0 MW: gore - linearna aproksimacija; dole - stvarna karakteristika

$$P_t = \begin{cases} P_{t1} = 0, & 0 < v < v_{in} \\ P_{t2} = P_n \cdot \frac{v - v_{in}}{v_n - v_{in}}, & v_{in} < v < v_n \\ P_{t3} = P_n, & v_n < v < v_{out} \\ P_{t4} = 0, & v_{out} < v < v_{max} \end{cases} \quad (7)$$

gde je  $P_n$  nominalna snaga,  $v_{in}$  upadna brina vetra (*cut-in*),  $v_n$  nominalna brzina,  $v_{out}$  zaustavna brzina (*cut-out*), a  $v_{max}$  maksimalna brzina vetra. Za brze proračune ovakva aproksimacija je zgodna, jer se sada može izraziti srednja snaga kao:

$$P_{tSR} = P_n \cdot \frac{2v_{out} - v_n - v_{in}}{2v_{max}} \quad (8)$$

Brzina vetra je promenljiva i u jugo-istočnom Banatu varira u širokom opsegu sa udarima i do  $v_{max}=38$  m/s [7]. Sada se iz (8), a za podatke o karakterističnim brzinama vetroturbine od 3 MW date na slici 7, može dobiti da je srednja snaga te vetroturbine:

$$P_{tSR} = P_n \cdot \frac{2v_{out} - v_n - v_{in}}{2v_{max}} = 0,44 \cdot P_n \quad (9)$$

Izlazna, električna snaga vetrogeneratora  $P_{vg}$  zavisi od koeficijenta efikasnosti mehaničkog prenosa (reduktora)  $\eta_{meh}$  i elektro-mehaničkog pretvaranja (generatora)  $\eta_{gen}$ , pa se može izraziti sa:

$$P_{vgSR} = \eta_{gen} \cdot \eta_{meh} \cdot P_{tSR} \quad (10)$$

Korišćenjem (9) i (10) i uz pretpostavku koeficijenata efikasnosti  $\eta_{meh}=0,9$  i  $\eta_{gen}=0,95$  može se proceniti ukupna godišnja proizvodnja vetrogeneratora ( $E_{vg}$ ), odnosno kompletnog vetroparka ( $E_{vp}$ ) „Alibunar 2“:

$$E_{vp} = 25 \cdot P_{vgSR} \cdot 8760 = 247,6 \text{ GWh} \quad (11)$$

Međutim, pretpostavka za primenu izraza (7) je da postoji uglavnom ravnomerna raspodela brzina vetra, što nije slučaj, tj. raspodela brzina prati *Weibull*-ovu, odnosno *Rayleigh*-ovu raspodelu [1,3]. U tom slučaju, može se proceniti ukupna godišnja generisana električna energija i korišćenjem srednje snage vetra (izraz (2)) i sveukupnog koeficijenta efikasnosti vetrogeneratora  $\eta_{vg}$ , koji obično iznosi oko  $\eta_{vg}=0,32$  (ili oko 32%) [1], pa se dobija:

$$E_{vp} = 25 \cdot \eta_{vg} \cdot P_{vSR} \cdot 8760 = 206,03 \text{ GWh} \quad (12)$$

Na ovaj način dobijene su okvirne vrednosti proizvodnje električne energije za dati vetropark. Tačna vrednost je negde između i ona zahteva kompleksnija proračunavanja. Ona bi se dobila ako bi se koristili mereni podaci za brzinu vetra (iz [3]) i izraz (6), te agregirali na godišnjem nivou i za dati broj vetrogeneratora ( $N=25$ ), što ostaje za dalji rad.

## 6. ZAKLJUČAK

Korišćenje energije vetra za proizvodnju električne energije predstavlja oslonac tkzv. zelene tranzicije Srbije. Linearizacijom krive snage vetroturbine, moguće je jednostavno izračunati snagu vetrogeneratora, odnosno godišnju proizvodnju vetroparka. Sličan podatak može se dobiti iz srednje gustine snage vetra, pa se oba postupka mogu koristiti za određivanje okvirnog nivoa proizvodnje. Tačna vrednost je negde između, ali ona zahteva kompleksnija proračunavanja.

## 7. LITERATURA

- [1] Ž. Đurišić, „Vetroturbine“, Akademska misao, Beograd, 2019.
- [2] <https://sites.google.com/site/tehskolamojaucionica/home/obnovljiv-i-izvori-energije/princip-konverzije-energije-vetra-u-elektricnu>
- [3] Glavni projekat vetroturbine „Alibunar“, 2016.
- [4] V. Katić i dr., „Atlas vetrova AP Vojvodine“, Studija, Pokr. sekret. za energ. i miner. sirov., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008
- [5] <https://globalwindatlas.info/>
- [6] F. Xu et al., „Multi-Objective Control of Direct-Driven Wind Power Generation System with Frequency Separation“, Chinese Journal of Electrical Eng., Vol.3, No.1, June 2017, pp.42-50.
- [7] P. Katić, D. Đukanović, P. Đaković, „Klima SAP Vojvodine“, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1979.

## Kratka biografija:



**Marko Z. Hrnjak** rođen je u Vršcu, 14.09.1994. godine. Završio je školski centar »Nikola Tesla«, smer elektrotehničar procesnog upravljanja u Vršcu. Fakultet tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije upisao je školske 2013/2014. Na studijama se opredelio za smer Elektroenergetski sistemii diplomirao 2019. god., odnosno odbranio master rad 2021. god.



**Vladimir A. Katić**, red. prof. rođen je 1954. godine u Novom Sadu. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 1978. godine, a magistrirao i doktorirao na Univerzitetu u Beogradu 1981. i 1991. godine, respektivno. Od 2002. godine je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Oblasti interesovanja su energetska elektronika, obnovljivi izvori, električna vozila i kvalitet električne energije.

**SOFTVER ZA KREIRANJE ALBUMA GEOTAGOVANIH FOTOGRAFIJA****SOFTWARE FOR MAKING GEOTAGGED PHOTOGRAPHS ALBUMS**Marko Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Rad se bavi rešavanjem problema kreiranja albuma geotagovanih fotografija. Kao rešenje je kreirana Veb aplikacija pisana uz pomoć Java programskog jezika i React biblioteke. Iz geotagovanih fotografija su izvlačeni podaci o koordinatama i datumu fotografisanja. Geotagovane fotografije su se korisniku predstavljale na Google mapi.

**Ključne reči:** Exif metapodaci, fotografija, album, lokacija, koordinate, REST, Java, React

**Abstract** – The paper focuses on the solution for geotagged photographs albums creation. As a solution, a web application was created with the help of the Java programming language and the React library. Data on coordinates and date of photographing were extracted from geotagged photographs. Geotagged photos were presented to the user on Google map.

**Keywords:** Exif metadata, photograph, album, location, coordinates, REST, Java, React

**1. UVOD**

Zahvaljujući velikom napretku transportnih sredstava u proteklom veku, danas je putovanje lakše nego ikada. Svetska turistička organizacija Ujedinjenih nacija procenjuje da je 1950. godine na međunarodnom nivou bilo 25 miliona turističkih dolazaka.

Broj međunarodnih turističkih dolazaka povećan je na 1,4 milijarde 68 godina kasnije [1]. Ova statistika, zajedno sa porastom dostupnosti i razvojem uređaja koji imaju mogućnost fotografisanja, doprinosi tome da se putovanja uveliko fotografišu. Nakon određenog vremena, ljudi izgube sećanje o tome šta je na pojedinim fotografijama ili gde i kada su one fotografisane. Tema ovog rada jeste kreiranje albuma geotagovanih fotografija, kao i njihov prikaz na mapi kako bi se rešio problem zaborava o subjektu, lokaciji i vremenu fotografisanja.

Većina modernih uređaja koji imaju mogućnost fotografisanja zajedno sa fotografijom čuvaju i njene meta podatke, koji se nazivaju Exchangeable image file format (EXIF) meta podaci. Jedan od EXIF meta podataka su koordinate na kojima je fotografija uslikana. Fotografija koja ima ovakav podatak se naziva geotagovana fotografija. Kada se fotografija doda u album iz nje se čitaju koordinate i datum.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Ivetić, red.prof.

Potom se na osnovu pročitanih koordinata fotografija smešta na odgovarajuću lokaciju na mapi. Nakon toga korisnik može da pregleda okolinu fotografije na mapi iz perspektive satelita ili ulične perspektive, kao i da postavi ime i kratak opis za fotografiju.

Postojeća rešenja koja se bave problemom izvlačenja EXIF podataka iz fotografija od korisnika zahtevaju da otpremi fotografiju svaki put kada hoće uvid u njene EXIF podatke.

Za razliku od njih, softver za kreiranje albuma geotagovanih fotografija za cilj ima da korisnicima pruži jednostavniji i brži način pregledanja koordinatnih podataka prethodno otpremljenih fotografija.

Još jedan od ciljeva jeste da se korisnicima pruži veći stepen slobode u manipulaciji i organizaciji albuma i fotografija. Kako bi se ovo postiglo implementirana je mogućnost registracije i prijave korisnika. Korisnik koji je registrovan i prijavljen na sistem ima pristup svojoj kolekciji albuma i fotografija.

Novi albumi se mogu kreirati, a postojeći se mogu ažurirati i u njih se mogu dodati nove fotografije. Kada se fotografija doda u album iz nje se izvlače EXIF meta podaci za geografske koordinate i datum fotografisanja. Pomoću ovih podataka fotografija se dodaje na odgovarajuću lokaciju na mapi. Mapa i prethodno otpremljene fotografije su uvek dostupne korisniku za pregled bez potrebe za ponovnim otpremanjem i čitanjem EXIF podataka fotografija.

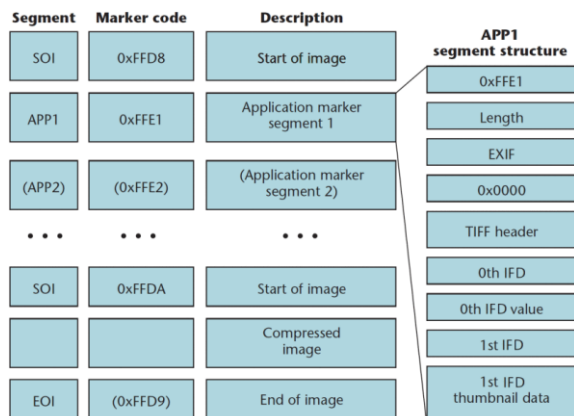
**2. EXCHANGEABLE IMAGE FILE FORMAT (EXIF)**

Japansko udruženje industrija elektronike i informacione tehnologije je razvilo EXIF u cilju postavljanja standarda za čuvanje digitalnih fotografija i njenih meta podataka. EXIF standard određuje:

- osnovnu strukturu datoteka sa podacima o digitalnim fotografijama,
- oznake i segmente JPEG markera koje standard koristi, i
- kako definisati i upravljati verzijama formata [2].

EXIF digitalna slika se snima kao Joint Photographic Experts Group (JPEG) datoteka. Svaka JPEG datoteka se sastoji od segmenata, svaki segment počinje markerom, a svaki marker počinje 0xFF bajtom i još jednim bajtom koji ukazuje na tip markera.

Početni segment je uvek start of image (SOI) segment, a poslednji end of image (EOI) segment. Exif metapodaci se smeštaju u segment APP1 (Slika 1).



Slika 1. Prikaz segmenata JPEG datoteke[2]

Segment APP1 takođe ima svoju strukturu koja se može uočiti na slici 1. EXIF i dva bajta 0x00 označavaju da je reč o EXIF meta podacima, nakon njih slede i sami EXIF podaci. EXIF koristi Tag Image File Format (TIFF) format da skladišti podatke. Prvih osam bajtova TIFF formata predstavljaju TIFF header. Posle TIFF header-a sledi nulti Image File Directory (IFD) gde se nalaze podaci o fotografiji i specijalni tag koji pokazuje ka Exif SubIFD direktorijumu. Exif SubIFD sadrži podatke o podešavanjima digitalne kamere koja se koriste tokom slikanja, kao što su osvetljenost, da li je blic uključen, vrednost otvora blende, GPS lokacija itd. Prvi IFD skladišti podatke o sličici (thumbnail, eng.) glavne fotografije.

### 3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Softver za kreiranje albuma geotagovanih fotografija se sastoji iz backend i frontend aplikacije. Backend aplikacija sadrži poslovnu logiku. U njoj se vrši čitanje EXIF meta podataka koji su neophodni za postavljanje fotografija na mapu i dalji rad sa njima. Takođe, u backend aplikaciji se nalazi i logika za kreiranje, brisanje i ažuriranje albuma i lokacija. Podaci sa kojima aplikacija radi se čuvaju u relacionoj bazi podataka. Frontend aplikacija je razvijana korišćenjem React biblioteke za JavaScript. Ona je zadužena za prikaz korisničkog interfejsa i za logiku vezanu za njega.

#### 3.1 Backend

Softver za kreiranje albuma geotagovanih fotografija je RESTful Veb aplikacija pisana u Javi i razvijana unutar Spring framework-a uz pomoć Maven alatke. Zbog toga, prvi korak implementacije jeste definisanje biblioteka koje su potrebne aplikaciji u pom.xml datoteci.

Nakon definisanja zavisnosti, implementirani su User, Album i Location modeli. Modeli su predstavljeni kao Java klase sa odgovarajućim atributima metodama i konstruktorima. Klase User, Album i Location su anotirane sa Entity anotacijom, koja govori da se one predstavljaju kao tabele u relacionoj bazi podataka. Svaka od navedenih klasa sadrži id atribut. Atribut id je primarni ključ kojim se identifikuje jedan red u tabeli. Kako bi relaciona baza znala koji atribut je primarni ključ on se mora obeležiti sa Id anotacijom. Takođe, na id atribut dodata je anotacija GeneratedValue. Ona govori relacionoj bazi da treba da generiše vrednost primarnog

ključa. Postoji nekoliko različitih strategija za generisanje ključa, u rešenju je korištena Identity strategija. Kod ovakve strategije prvi red dodat u tabelu ima vrednost id-ija postavljanu na broj jedan. Svaki sledeći red koji se dodaje imaće vrednost id-ija povećanu za jedan u odnosu na id prethodnog reda (Slika 2).

```
@Entity
public class Album {

    public Album() {}

    public Album(String name, Integer numberOfImages) {
        this.name = name;
        this.numberOfImages = numberOfImages;
        this.creationDate = LocalDate.now();
    }

    @Id
    @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
    private Long id;
```

Slika 2. Prikaz anotacija na klasi i id atributu

Nakon modela na red dolazi implementacija repository interfejsa. Oni proširuju JpaRepository interfejs i služe za slanje SQL upita iz aplikacije ka bazi. JpaRepository je deo Spring Data JPA zavisnosti. Neki osnovni upiti se mogu pozivati predefinisanim metodama, u rešenju su najčešće korišteni findAll, findById, save i delete. Napredniji upiti se mogu napisati pomoću Query anotacije i SQL-a.

Softver za kreiranje albuma geotagovanih fotografija je aplikacija koja sadrži veliku količinu poslovne logike. Kako bi kod bio čitljiviji, lakši za modifikaciju i ponovnu upotrebu kreiran je servisni sloj u kome je sadržan veliki deo poslovne logike. Servisni sloj se sastoji od User, Album i Location servis interfejsa i klase koje implementiraju te interfejse. UserService je servis klasa koja sadrži poslovnu logiku vezanu za korisnika aplikacije, sadrži metode za registrovanje i prijavu korisnika. AlbumService je servis klasa koja sadrži poslovnu logiku vezanu za albume. U njoj su implementirane metode za pronalazak svih albuma na osnovu vlasnika, kreiranje, ažuriranje i brisanje albuma. LocationService je servis klasa koja sadrži poslovnu logiku vezanu za lokacije. U njoj se nalaze metode za dobavljanje svih lokacija i fotografija jednog albuma, kreiranje, ažuriranje i brisanje lokacija. Unutar LocationService klase se nalaze i metode za izvlačenje EXIF meta podataka iz fotografija, kao i metode za smanjenje rezolucije fotografija.

Kontroleri su klase koje sadrže endpoint-e aplikacije, tj. krajnje tačke preko kojih druge aplikacije mogu da pristupe resursima koji se serviraju. Softver za kreiranje albuma geotagovanih fotografija sadrži User, Album i Location kontrolere. Sve metode unutar kontroler klase su anotirane sa GetMapping, PutMapping, PostMapping ili DeleteMapping anotacijom. Ove anotacije govore kog tipa moraju biti zahtevi koje data metoda prima i dozvoljavaju da se definiše putanja do metode. Određeni delovi putanje mogu predstavljati dinamičke podatke koje treba izvući. Da bi se to postiglo koristi se PathVariable anotacija koja se postavlja ispred ulaznog parametra metode. Neke podatke je potrebno validirati pre nego što se nastavi rad sa njima, u tu svrhu se koristi Validate anotacija. Ova anotacija proverava da li vrednosti iz poslatog JSON objekta zadovoljavaju ograničenja koja su



postavljena na atributima Java klase na koju se oni mapiraju (Slika 3). U kontrolerima se poziva izvršavanje metoda poslovnog sloja, nakon čega se korisniku koji je poslao zahtev na server vraća odgovor.

```
@PostMapping
public ResponseEntity<AlbumDto> editAlbum
    (@Valid @RequestBody EditAlbumNameDto dto,
    HttpServletRequest req) {

    //...
}
```

Slika 3. Prikaz anotacija kontroler metode

### 3.2 Frontend

Komponente su osnovni gradivni elementi React aplikacije. Komponenta može biti functional ili class-based. Functional komponenta predstavlja funkciju koja prima ulaz na osnovu koga se vraća određeni izlaz. Class-based komponente imaju svoje stanje koje se čuva u objektu state. Kada se ovaj objekat promeni React izvrši potrebne izmene i ažurira prikaz stranice. Softver za kreiranje albuma geotagovanih fotografija implementira komponente za prikaz stranica za prijavu i registrovanje, album stranica, komponentu za prikaz Google mape, fotografija i lokacija.

Kod React aplikacije podaci se prenose kao svojstva (React ih naziva props) od komponenti roditelja ka dete komponentama. Ovakav način prenosa može biti problematičan za aplikacije kod kojih dosta komponenti na različitim nivoima React stabla dele podatke. Kao rešenje ovog problema React predstavlja poseban objekat koji se naziva kontekst (Context eng.). Kontekst je dizajniran da deli podatke koji se mogu smatrati "globalnim" za stablo React komponenata kao što su trenutno prijavljeni korisnik, tema aplikacije, preferirani jezik itd [3]. Da bi komponente mogle da pristupaju vrednostima preko konteksta one se moraju pretplatiti na njega. Kako bi se kontekst kreirao potrebo je pozvati React createContext metodu.

Kada React prikaže komponentu koja je pretplaćena na kontekst objekat, vrednosti koje on deli se čitaju iz najbližeg provider-a koji se u stablu nalazi iznad prikazane komponente. Provider je specijalna React komponenta koja dozvoljava drugim komponentama da se pretplate na kontekst. Provider u sebi sadrži value prop u koji se smeštaju podaci koji se dele preko konteksta. Komponente koje se u stablu nalaze ispod provider-a mogu da pristupaju njegovom value prop-u i ponovo se iscrtavaju kada se taj prop izmeni. Rešenje za kreiranje albuma geotagovanih fotografija implementira četiri konteksta zajedno sa njihovim provider-ima u sledećim komponentama:

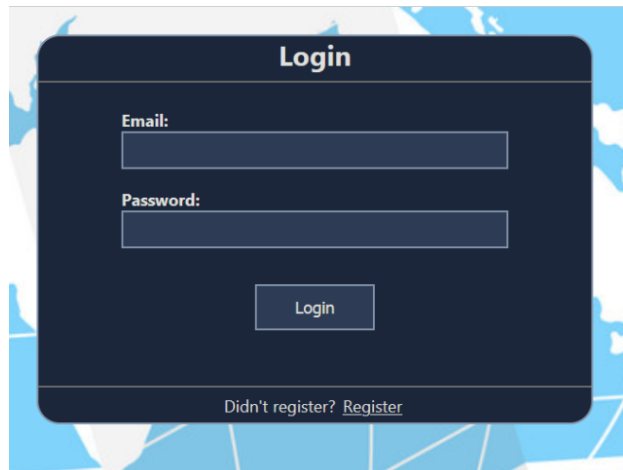
- AlbumContextProvider, sadrži stanje i funkcije vezane za albume,
- LocationContextProvider, sadrži stanje i funkcije vezane za lokacije,
- MapCenterContextProvider, sadrži stanje i funkcije potrebne za rukovanje Google mapom, i
- ExtendedComponentContextProvider, sadrži stanja komponenti za iscrtavanje korisničkog interfejsa vezanog za upravljanje lokacijama.

## 4. PRIKAZ REŠENJA

U ovom poglavlju je dat prikaz rešenja za kreiranje albuma geotagovanih fotografija. Prvo će se prikazati stranice za prijavu i registraciju korisnika. Zatim će se dati prikaz album stranice. Na kraju poglavlja je prikazana stranica na kojoj se nalazi mapa sa dodatim lokacijama.

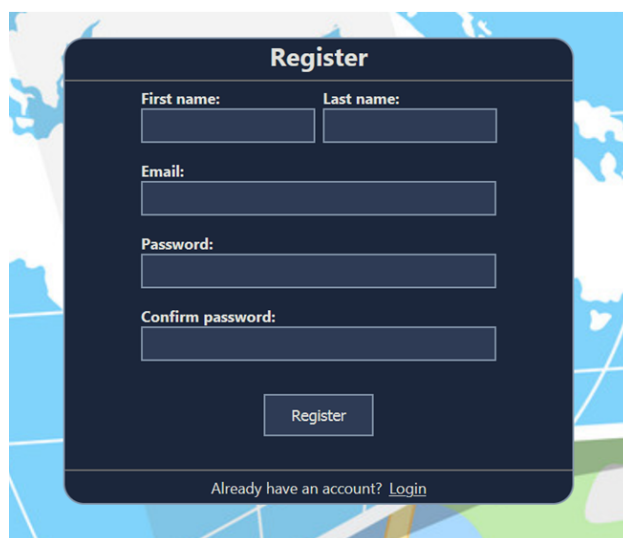
### 4.1 Stranice za prijavu i registraciju korisnika

Korisniku koji nije prijavljen se prvo prikazuje stranica za prijavu. Stranica sadrži formu za prijavu sa poljima za email i lozinku. Ukoliko korisnik nema nalog ispod forme se nalazi link koji vodi na stranicu za registraciju (Slika 4).



Slika 4. Forma za prijavu korisnika

Klikom na Register link ispod forme za prijavu, korisniku se prikazuje stranica za registraciju. Stranica za registraciju ima formu sa poljima za unos imena, prezimena, email-a, lozinke i potvrdu lozinke. Ispod forme se nalazi link ka stranici za prijavu (Slika 5).



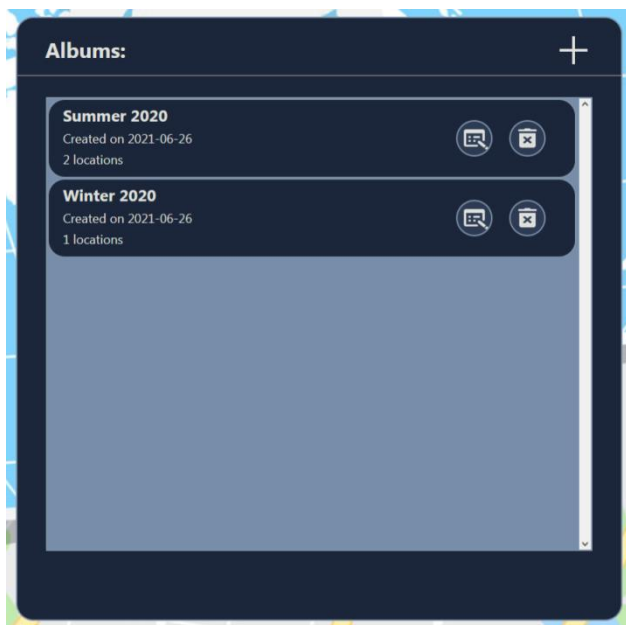
Slika 5. Forma za registraciju korisnika

### 4.2 Album stranica

Nakon uspešnog logovanja korisniku se prikazuje album stranica. Na ovoj stranici se nalazi prikaz korisnikovih albuma. Na album stranici korisnik može da kreira novi album klikom na plus ikonicu. Nakon klika kartica novog albuma će se dodati u listu. Svaki album je prikazan na



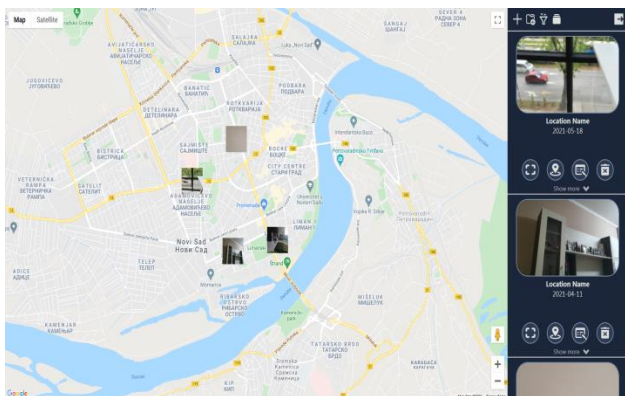
svojoj kartici zajedno sa informacijama o nazivu, datumu kreiranja i broju fotografija unutar albuma. Takođe, na desnoj strani kartice se nalaze dugmići za brisanje i ažuriranje albuma (Slika 6).



Slika 6. Album stranica

#### 4.3 Stranica sa mapom i lokacijama

Nakon što je korisnik kliknuo na određeni album prikazuje se stranica sa mapom i lokacijama fotografija tog albuma. Stranica se sastoji iz dva glavna dela. Na levom delu se nalazi mapa sa prikazanim umanjanim fotografijama koje su postavljene na lokacije fotografisanja. Na desnom delu se nalazi lista lokacija. Svaka lokacija je predstavljena katicom na kojoj se nalaze umanjeni prikaz fotografije i informacije o nazivu lokacije i datumu fotografisanja. Takođe, ispod navedenih informacija svaka kartica ima dugmiće za manipulisanje lokacijama (Slika 7).



Slika 7. Stranica sa mapom i lokacijama

### 5. ZAKLJUČAK

Rezultat rada jeste softversko rešenje za kreiranje albuma geotagovanih fotografija. Rešenje opisano u ovom radu za cilj je imalo da korisniku pruži ličnu kolekciju albuma geotagovanih fotografija. Takođe, za razliku od ostalih rešenja koja se bave izvlačenjem EXIF meta podataka iz fotografija, ovo rešenje korisniku omogućava veći stepen slobode u upravljanju i organizovanju albuma i

fotografija. Kako bi se ovo postiglo bilo je potrebno implementirati mogućnost registracije i prijave. Korisnik koji je registrovan i prijavljen na sistem ima pristup svojoj kolekciji albuma i fotografija. Novi albumi se mogu kreirati, a postojeći se mogu ažurirati i u njih se mogu dodati nove fotografije. Kada se fotografija doda u album iz nje se izvlače EXIF meta podaci za geografske koordinate i datum fotografisanja. Pomoću ovih podataka fotografija se dodaje na odgovarajuću lokaciju na mapi i u listu lokacija prikazanih korisniku.

Mapa je implementirana pomoću Google Maps API servisa. Google Maps API pruža dodatne mogućnosti kao što su prikaz mape iz perspektive satelita i ulične perspektive. Svaka lokacija se može ažurirati sa novim nazivom ili kratkim opisom gde korisnik može da unese činjenice ili zanimljivosti vezane za lokaciju.

Implementirano rešenje ostavlja prostora za dalja unapređenja i istraživanja. Bezbednost aplikacije se dodatno može unaprediti, trenutno je implementirana kontrola pristupa, hash i salt za lozinke i zaštita od SQL injection napada. Određeni EXIF meta podaci koji se u rešenju trenutno ne prikazuju bi mogli biti od interesa korisnicima koji se bave fotografijom na profesionalnijem nivou. Ti podaci obuhvataju tip uređaja koji je korišten za fotografisanje i podešavanja kamere kao što su osvetljenost, da li je blic uključen, vrednost otvora blende itd.

Rešenju se može dodati i socijalni aspekt, odnosno mogućnost da korisnik podeli svoju mapu sa fotografijama na socijalnim mrežama kao što su facebook, instagram, twitter itd. Dalja istraživanja je moguće odraditi na teme kao što su sklabilnost aplikacije, rukovanje velikom količinom fotografija i poboljšanje performansi aplikacije koja rukuje velikom količinom fotografija.

### 6. LITERATURA

- [1] Max Roser, "Tourism", ourworldindata.org, <https://ourworldindata.org/tourism>
- [2] J. Tesic, "Metadata practices for consumer photos", vol 12, pp. 86-92, 2005.
- [3] React, "Context", reactjs.org, <https://reactjs.org/docs/getting-started.html>

#### Kratka biografija:



**Marko Katić** rođen je u Novom Sadu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarstvo i automatika – Računarska grafika odbranio je 2021.god.  
kontakt: katicmarko96@gmail.com

**SISTEM ZA UPRAVLJANJE VIRTUELNIM POSTROJENJEM ZA GENERISANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I SISTEM ZA OTKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE****SYSTEM FOR MANAGING VIRTUAL POWER PLANTS AND SYSTEM FOR MANAGING PURCHASEMENT OF ELECTRIC ENERGY**

Andela Krstić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Virtualne elektrane predstavljaju jedno od tehnoloških rešenja koja omogućavaju uključivanje distribuiranih energetske resursa u elektroenergetski sistem što doprinosi ostvarivanju ekoloških ciljeva celokupnog sistema. Postoji veliki broj različitih definicija šta je tačno virtualna elektrana ali se sve u najvećoj meri slaže da je virtualna elektrana skup distribuiranih energetske resursa različitih vrsta, kontrolisanih sa jedne lokacije, koji se na tržištu električne energije posmatraju kao jedan generator tj. elektrana. Fokus ovog rada jeste prikaz jedne implementacije virtualnih elektrana i prikaz trgovine energijom. Korisnik VPP aplikacije ima mogućnost upravljanja generatorima, pregled generacije, pregled prodane energije i istorijskih podataka. Korisnik aplikacije za otkup energije ima mogućnost pregleda informacije o potrošnji, otkupljenoj energiji, energiji iz mreže, istorijskim podacima, finansijskim podacima, podacima o tokenima i upravljanju kriterijumom za otkup energije.

**Glavne reči:** Distribuirani energetske resursi, sistem za upravljanje distribuiranim energetske resursima, Virtualna elektrana

**Abstract** – Virtual power plants are one of the technological solutions that enable the inclusion of distributed energy resources in the power system, which contributes to environmental goals of the entire system. There are a number of different definitions of virtual power plants, but most agree that a virtual power plant consists of a set of distributed energy resources, of different types, controlled from one location, which are viewed on electricity market as one generator (power plant). The focus of this paper is to present an implementation of virtual power plant and an overview of energy trade. The user of VPP application has the ability to manage generators, view generation, sold energy and historical data. The user of energy trade application can view informations about consumption, grid energy, bought energy, historical, financial and tokens data and change energy purchase criteria.

**Keywords:** Distributed energy resources, Distributed energy resources management system, Virtual Power Plants.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Bošković, docent.

**1. UVOD**

Električna mreža je jedna od najvećih i najkompleksnijih a istovremeno i najvažnijih mreža koje su ikada izgrađene. Njena namena je da obezbedi pouzdano napajanje električnom energijom koja je potrebna da potrošačke potrebe budu zadovoljene.

U prošlosti je cilj elektroenergetskog sistema bio zadovoljenje korisničkih potreba pouzdano, sigurno i ekonomično dok je poslednjih godina dodat i zahtev za ekološkom održivošću. Način na koji se električna energija u najvećoj meri trenutno generiše dovodi do proizvodnje velike količine gasova staklene bašte (*Greenhouse Gases - GHG*) što značajno utiče na globalno zagrevanje. Iz ovih razloga javlja se potreba za izvesnim promenama unutar elektroenergetskog sistema kao što su pojava *smart grid-a*, *micro grid-a* i virtualnih energetske postrojenja (*Virtual Power Plants - VPP*).

Fokus ovog rada jeste prikaz jedne implementacije virtualnih elektrana i prikaz trgovine energijom. U nastavku će koncept virtualnih elektrana biti podrobnije objašnjen.

**2. PROMENE U MREŽI**

Zbog različitih faktora, postalo je neophodno unaprediti postojeći elektroenergetski sistem i omogućiti distribuiranoj generaciji da se uključi u mrežu. Unapređenju elektroenergetskog sistema pomažu nove tehnologije kao što su distribuirani energetske resursi – *DER*-ovi, sistemi za upravljanje distribuiranim energetske resursima – *DERMS* (*Distributed Energy Resources Management System*), *Smart grid* – pametna mreža, *Micro grid*, *VPPs* – već pomenute virtualne elektrane.

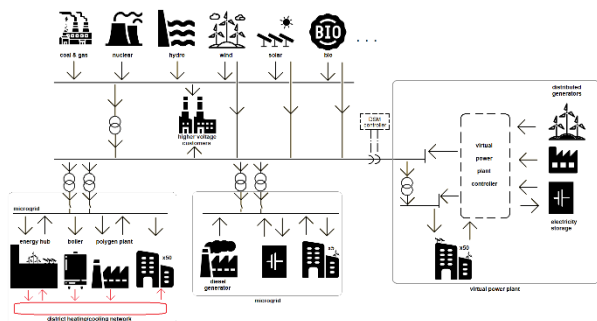
Jedan od glavnih razloga za izmenu elektroenergetskog sistema jeste distribuirana generacija. Ovaj pojam se odnosi na proizvodnju korisne energije blizu ili na samoj lokaciji upotrebe. Količina energije koju generišu je značajno manja od tipične elektrane.

*VPP* tehnologije imaju potencijal da pomognu mreži da prevaziđe niz izazova sa kojima se susreće kao što su manjak generacionih kapaciteta, prevencija ispada, upravljanje mrežom prilikom zagušenja.

Koncepti *microgrid-a* i *VPP-a* su nove metode dizajniranja elektroenergetskog sistema koji nude visoku pouzdanost, kvalitet, bezbednost i dostupnost električne energije društvu. Koncepti *VPP-a* i *microgrid-a* imaju zajedničku karakteristiku da su atraktivni kada je u pitanju koordinacija i integracija *DER*-ova u električnoj mreži.

VPP je forma agregacije DER-ova kod koje agregacija može biti virtualna odnosno bazirana na softveru. Time su geografske ograničenosti *microgrid*-a uklonjene, ali se gubi mogućnost ostrvskog izdvajanja. VPP se takođe može sastojati od više *microgrid*-ova.

Virtuelne elektrane (VPP-ovi) su koncept koji omogućava kontrolu velikog broja relativno malih energetske resursa i integrišu ih u operativnu energetska mrežu.



Slika 1. Izgled elektroenergetskog sistema nakon pojave VPP-ova

### 3. TECHNOLOGY STACK

Softversko rešenje koje je tema ovog rada implementirano je u programskom jeziku C# u okruženju *Visual Studio 2019*. Softversko rešenje sadrži dve zasebne web aplikacije pisane u *ASP.NET Core framework*-u.

#### 3.1. ASP.NET Core

*ASP.NET Core* je besplatan *open-source web framework* i naslednik *ASP.NET*-a. Ovaj *framework* objedinjava prethodno razdvojeni *ASP.NET MVC* i *ASP.NET Web API* u jedan programski model. Iako je relativno nov *framework* ima visok stepen kompatibilnosti sa *ASP.NET*-om. *ASP.NET Core* omogućava pokretanje različitih aplikacija na istom računaru koje mogu gađati različite verzije *ASP.NET Core* (funkcionalnost koje nije bilo u *ASP.NET*-u).

#### 3.2. Web aplikacije

Web aplikacija je softver koji se izvršava na web servisu, što ih razlikuje od računarskih softvera koji se izvršavaju lokalno, na operativnom sistemu. Ovim aplikacijama se pristupa preko web pretraživača (podrazumeva se postojanje aktivne internet konekcije). Primeri često korišćenih web aplikacija su *web-mail*, *online banking*, *online prodavnice* *online aukcije*. . .

Aplikacije se najčešće dele u logičke delove odnosno „slojeve“ gde svaki sloj ima svoju ulogu. Tradicionalne aplikacije sadrže samo jedan sloj, koji se izvršava na klijentskoj mašini, dok web aplikacije mogu često imati n slojeva. Iako postoji veliki broj varijacija, najčešća struktura podrazumeva tri nivoa (sloja). Ova tri sloja se najčešće nazivaju prezentacioni sloj, aplikacioni sloj i sloj čuvanja podataka (*storage*).

### 4. FUNKCIONALNA SPECIFIKACIJA APLIKACIJE

Projekat koji je je razmatran u ovom dokumentu sastoji se od aplikacije koja predstavlja VPP i aplikacije koja predstavlja kompaniju koja vrši otkup električne energije

od grupe VPP-ova. VPP-ovi kontrolišu distribuirane resurse koji mogu biti vetrogeneratori ili solarni paneli.

Projekat sadrži web aplikaciju za vlasnike VPP-ova, web aplikaciju preko koje dispečer u kompaniji koja se bavi otkupom energije može pratiti stanje, server kome se svi klijenti obraćaju (*web API*) i simulator (*web API*).

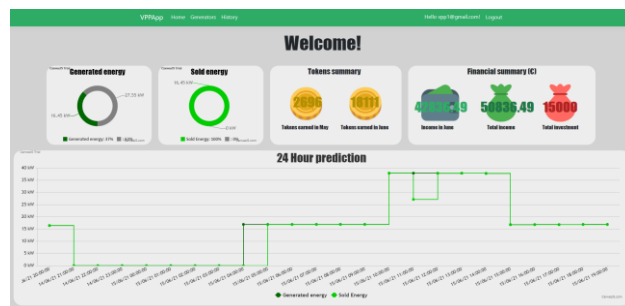
Server je implementiran kao *ASP.NET Core Web API*, kao i simulator, dok su klijentske aplikacije implementirane kao *ASP.NET Core Web App (MVC-Model View Controller)* šablon.

Korisnici koji su ulogovani na VPP aplikaciju imaju mogućnost da prate informacije o generisanoj energiji, prodatoj energiji (za trenutni sat i predviđanje za naredna 24 sata), tokenima, finansijske podatke, istorijske podatke i manipulišu generatorima (izvršavaju funkcije dodavanja, brisanja i promene stanja).

Korisnici koji su ulogovani na aplikaciju za otkup električne energije mogu pratiti informacije o energiji kupljenoj od virtualnih postrojenja, energiji preuzetoj iz mreže (na nivou sata i predviđanje za naredna 24 sata), potrošnji, tokenima, finansijske podatke, istorijske podatke, pregledaju geografske lokacije generatora koji pripadaju virtualnim generacionim postrojenjima, dodaju nova virtualna postrojenja i menjaju kriterijum po kome će se vršiti izbor od kojih virtualnih postrojenja će električna energija biti otkupljivana.

### 5. REZULTATI

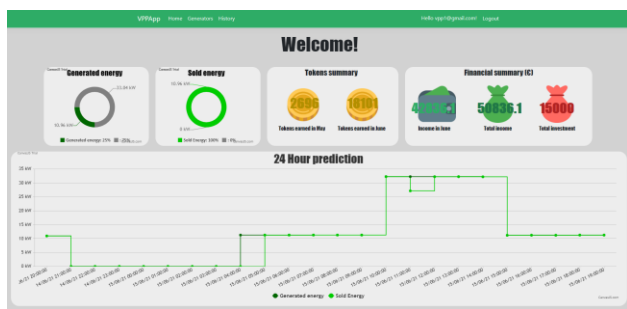
U nastavku teksta biće prikazani rezultati rada aplikacije u slučaju upravljanja pojedinačnim generatorom od strane virtualnog postrojenja, kao i rezultati rada aplikacije nakon izmene redosleda prioriteta VPP-ova prilikom otkupa električne energije.



Slika 2. Izgled vrednosti na Home prozoru VPP aplikacije pre izmena

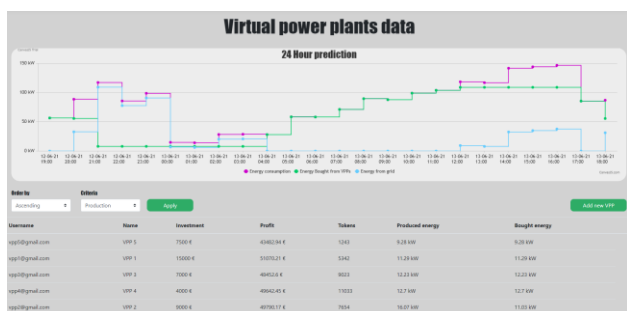
Na slici 2 se može videti stanje koje vlasnik VPP-a vidi pre izvršenja akcije nad jednim generatorom. Vrednost u sekciji *generated energy* je 16.45 kW. EDV korisnik u datom trenutku otkupljuje svu raspoloživu energiju koju VPP u primeru nudi, odnosno 16.45 kW. Generator koji će biti korišćen u demonstraciji pre izmene stanja ima vrednost proizvodnje 5.49 kW i njegovo stanje je upaljen. Nakon promene, njegovo stanje je ugašen, a vrednost proizvodnje je 0 kW. Nakon primenjene izmene, kriva predikcije je izmenila svoj izgled, vrednost proizvodnje u trenutnom satu je opala na 10.96 kW što je i stanje koje je vidljivo kompaniji za otkup električne energije. Kriva predikcije je takođe izmenjena i na strani kompanije koja otkupljuje električnu energiju.



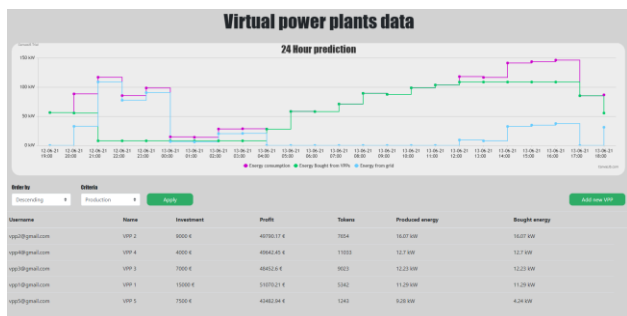


Slika 3. Stanje nakon primenjene izmene na Home prozoru VPP aplikacije

U slučaju da korisnik aplikacije za otkup energije želi da izmeni kriterijum po kome se energija otkupljuje od VPP-ova, to može učiniti izborom redosleda i kriterijuma na Virtual Power Plants prozoru.



Slika 4. Stanje i redosled pre primene filtera



Slika 5. Stanje i redosled nakon primene filtera

Nakon primene *descending* redosleda i *production* kriterijuma stanje je kao na slici 5. Redosled virtualnih postrojenja u listi je izmenjen u skladu sa odgovarajućim filterom.

## 6. ZAKLJUČAK

Električna enegija je neophodna za normalno funkcionisanje društva i zahtevi za njom konstantno rastu. Uporedo sa rastom zahteva za električnom energijom, raste potreba za očuvanjem životne sredine kao i ograničenja koja nameću zakonske regulative. U budućnosti neće biti dovoljno samo da potrebe potrošača budu zadovoljene, već će se ceniti i način na koji je električna energija proizvedena.

Sa razvojem moderne tehnologije u oblasti elektroenergetike stvaraju se nove mogućnosti za generisanje energije na način koji manje šteti životnoj sredini od tradicionalnih tehnologija. Razvoj modernih tehnologija omogućava veći stepen iskorišćenosti obnovljivih resursa po povoljnijim cenama što utiče na motivaciju ljudi i

kompanija da aktivno učestvuju u elektroenergetskom sistemu.

Pored toga što se zapaža trend rasta generisanja električne energije iz obnovljivih izvora, uvođenjem DER-ova, VPP-ova, sistema skladištenja električne energije i *micro grid*-ova u mrežu povećava se stabilnost mreže, samostalnost delova mreže i eliminiše se potreba za izgradnjom skupih *Peaker* postrojenja čija je svrha kratkotrajno generisanje energije u slučajevima kada potrošnja naglo poraste a sistem proizvodnje ne može dovoljno brzo da isprati promene.

Cilj rada je bio prikaz saradnje VPP-ova i kompanije koja se bavi otkupom električne energije. Buduća unapređenja na strani VPP aplikacije bi mogla biti podržavanje većeg broja tipova distribuiranih resursa, uvođenje optimizacija rada i kalkulatora koji bi prikazao za koji period bi bio moguć povrat investicije. Na strani koja se bavi otkupom energije unapređenja bi se mogla ogledati u vidu uvođenja koncepta ugovora kojim bi bile definisane vrednosti generacije, cena otkupa, cena tokena koji će se ostvarivati učešćem u proizvodnji. Moguće je proširenje i u vidu dinamičkih cena otkupa (u slučaju povezivanja sa tržištem energije) i dinamičkih cena tokena. Takođe, ukoliko zakon dozvoli, mogla bi se omogućiti međusobna trgovina energijom između VPP-ova.

Naredni korak koji bi u velikoj meri doprineo razvoju ovog rada bi bilo podržavanje baterija u sistemu. Sa podrškom baterija došlo bi do povećanja fleksibilnosti prodaje električne energije kao i smanjenja zavisnosti od mreže.

Jedan od benefita softverskog rešenja razmatranog u ovom radu jeste mogućnost kontinualnog razvoja aplikacija u više različitih smerova uz praćenje aktuelnih trendova u oblasti elektroenergetike.

## 7. LITERATURA

- [1] Johanna Lundkvist: Feasibility study of Virtual Power Plant Ludvika, 2013
- [2] Luc F.M van Summeren, Anna J.Wieczorek, Gunter J.T Bombaerts, Geert P.J Verbon : Community energy meets smart grids: Virtual Power Plants in Ireland, Belgium and Netherlands, 2020
- [3] Sergi Rotger-Griful, Virtual Power Plant for Residential Demand Response, 2014
- [4] Michal Jasinski, Tomasz Sikorski, Dominika Kaczorowska, Jacek Rezmer, Vishnu Suresh, Zbigniew Leonowicz, Paweł Kostyla, Jarosław Szymanda, Przemysław Janik : A Case Study on Power Quality in a Virtual Power Plant: Long Term Assessment and Global Index Application, 2020
- [5] Eko Adhi Setiawan: Concept and Controllability of Virtual Power Plant, 2007
- [6] Brecht Zwaenepoel: Drivers, Bottlenecks and Opportunities for Virtual Power Plants in Belgian Electricity System, 2016
- [7] Marco Pasetti, Stefano Rinaldi, Daniele Manerba: A Virtual Power Plant Architecture for the Demand-Side Management of Smart Prosumers, 2018
- [8] Shaun Howell, Yacine Rezgui, Jean-Laurent Hippolyte, Bajay Jayan, Haijiang Li: Towards the next generation of smart grids: Semaantic and Holonic multi-agent management of distributed energy resources, 2017



- [9] Tomas Olejnczak: Distributed Generation of Virtual Power Plants: Barriers and Solutions, 2011
- [10] Mudathir Funsho Akorede, Hashim Hizam, Edris Pouresmaeil: Distributed energy resources and benefits to the environment 2009
- [11] John Twidell, Tony Weir: Renewable Energy Resources, Third Edition, 2015
- [12] <https://docs.microsoft.com/en-us/>: Visual Studio 2019 Release Notes, 2021.

#### **Kratka biografija:**



**Andela Krstić** rođena je u Boru 1997. god. Nakon završetka srednje škole 2015. godine upisuje Fakultet tehničkih nauka, smer Primijenjeno softversko inženjerstvo. Osnovne akademske studije završila je 2019. godine. Master akademske studije upisuje 2019. godine, smer Primijenjeno softversko inženjerstvo.

## **ELEKTROMOTORNI POGON ZA TRANSPORT I SKLADIŠTENJE MELASE**

### **ELECTRIC MOTOR DRIVE FOR TRANSPORT AND STORAGE OF MOLASSES**

Aleksandar Gelić, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### **Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu obrađen je elektromotorni pogon za transport i skladištenje melase. Opisan je odabir zaštitne opreme i prikazan proračun trajno dozvoljenih struja i padova napona prilikom izbora provodnika za napajanje asinhronih motora u pogonu. Takođe izvršen je odabir adekvatnih frekventnih pretvarača i soft startera za odgovarajuće asinhronne motore, kao i odabir odgovarajućeg programabilnog logičkog kontrolera. Na kraju je dato objašnjenje kako i na koji način se pokreću motori u pogonu korišćenjem kontrolnog panela, servisnih i lokalnih upravljačkih kutija.

**Ključne reči:** Asinhroni motor, Frekventni pretvarač, Soft starter, Programabilni logički kontroler, Transport i skladištenje melase

**Abstract** – In this paper, an electric motor drive for transport and storage of molasses is discussed. The selection of protective equipment is described and the calculation of permanently allowed currents and voltage drops when selecting the conductors for powering induction motors in operation is shown. The selection of adequate frequency converters and soft starters for the appropriate induction motors was also performed, as well as the selection of the appropriate programmable logic controller. Finally, an explanation is given of how and in what way the motors are started in operation using the control panel, service and local control boxes.

**Keywords:** Induction motor, Frequency converter, Soft starter, Programmable logic controller, Molasses transport and storage

#### **1. UVOD**

Prilikom izgradnje fabrike za proizvodnju kvasca koja je građena još u prošlom veku vodilo se računa o što jeftinijoj, bržoj i kvalitetnijoj nabavci melase. Zbog toga je fabrika kvasca namenski građena pored fabrike šećera. Ove dve fabrike su bile povezane cevni mostom tako da je fabrika kvasca direktno uzimala melasu iz fabrike šećera. Pošto je fabrika šećera prestala sa radom prestalo je i snabdevanje melasom fabrike kvasca. Da bi obezbedili proizvodnju kvasca sa dovoljnim količinama melase fabrika kvasca je počela izgradnju sopstvenog sistema za skladištenje i transport melase. Upravo u ovom radu biće opisan sistem za transport i skladištenje melase.

#### **NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

#### **2. OPIS SISTEMA ZA TRANSPORT I SKLADIŠTENJE MELASE**

Potreba da se obezbedi nezavisna proizvodnja kvasca, sa stanovišta nabavke osnovne sirovine melase, što duži vremenski period dovela je do izgradnje pogona za transport i skladištenje melase. Osnovne celine ovog pogona su dva rezervoara za skladištenje melase, pumpna stanica koja se nalazi između ova dva rezervoara i cevni most koji spaja pogon gde se skladišti melasa sa pogonom fabrike u kojoj se proizvodi kvasac.

Najvažniji deo sistema za transport i skladištenje melase predstavlja pumpna stanica. Pumpna stanica je građevinski objekat koji je smešten između dva rezervoara i koji se sastoji iz dva dela. Prvi deo objekta zauzima oko 90% od ukupne površine pumpne stanice i u ovom delu su smešteni svi elektro motori koji su neophodni za rad pogona. U drugom delu pumpne stanice smešten je glavni razvodni orman (+GRO) kao i orman opšte potrošnje (+RO\_OP). Na slici 1. dat je prikaz prvog tj. najvećeg dela pumpne stanice.



Slika 1. Prikaz pumpne stanice

Prvi deo pumpne stanice je jedinstven prostor tj. celina, ali radi lakšeg objašnjenja možemo ga podeliti na dva jednaka dela. Prvi deo odnosno desna strana pumpne stanice kada se ulazi u prostoriju pripada rezervoaru 1, a leva strana rezervoaru 2. Na strani koja pripada rezervoaru 1 smeštena su tri elektro motora. Prvi motor je motor pumpe 1 za preuzimanje melase (+00\_PS\_01), čija je svrha da melasu preuzima iz cisterni i transportuje u rezervoar 1. Drugi motor je motor pumpe 1 za recirkulaciju melase (+00\_PM\_04), koji služi da melasu izvlači sa donjeg nivoa rezervoara a zatim tu istu melasu vraća nazad u gornji nivo rezervoara 1. I treći motor je motor pumpe 1 za prebacivanje melase (+00\_PS\_05a),

čija je namena da melasu transportuje iz rezervoara 1 do fabrike za proizvodnju kvasca.

Takođe i na strani koja pripada rezervoaru 2 smeštena su tri elektro motora. Prvi motor je motor pumpe 2 za preuzimanje melase (+00\_PS\_02), čija je svrha da melasu preuzima iz cisterni i transportuje u rezervoar 2. Drugi motor je motor pumpe 2 za recirkulaciju melase (+00\_PM\_06), koji služi da melasu izvlači sa donjeg nivoa rezervoara a zatim tu istu melasu vraća nazad u gornji nivo rezervoara 2. I treći motor je motor pumpe 2 za prebacivanje melase (+00\_PS\_05b), čija je namena da melasu transportuje iz rezervoara 2 do fabrike za proizvodnju kvasca.

### 3. REALIZACIJA PRAKTIČNOG DELA RADA

#### 3.1. Izbor i podešavanje frekventnih pretvarača

Za napajanje i regulaciju brzine asinhronog motora pumpe 1 za preuzimanje melase koristi se frekventni pretvarač. Frekventni pretvarači se u ovakvim pogonima biraju spram snage asinhronog motora. Nominalne snage frekventnih pretvarača i asinhronih motora prave se tako da se mogu upariti. Na osnovu ovoga izabran je pretvarač kompanije „ABB“ iz serije frekventnih pretvarača ACS580 koji su pogodni za sve industrijske primene od jednostavne kontrole brzine pa do dinamičkih servo pogona. Konkretno za motor pumpe 1 za preuzimanje melase koristi se pretvarač koji ima oznaku ACS580-01-039A-4. Izgled frekventnih pretvarača ACS580-01-039A-4 motora pumpe 1 za preuzimanje melase i motora pumpe 2 za preuzimanje melase dat je na slici 2. Sa oznakom –UM3 označen je frekventni pretvarač motora +00\_PS\_01, a sa oznakom –UM4 označen je frekventni pretvarač motora +00\_PS\_02.



Slika 2. Izgled frekventnih pretvarača ACS580-01-039A-4 (-UM3 i -UM4)

U nastavku će se akcenat staviti na podešavanje parametara koji su neophodni za pravilno upravljanje radom motora +00\_PS\_01. Prvo se u parametru 07.03 izabere tip frekventnog pretvarača, a to je u ovom slučaju ACS580-01-039A-4. Zatim se u grupi parametara „99. Motor data“ unose nominalni podaci asinhronog motora +00\_PS\_01 koji se nalaze na natpisnoj pločici ovog motora. Ti parametri su:

- parametar 99.03 (tip motora) unosimo asinhroni motor

- parametar 99.06 (nominalna struja motora) unosimo 35,2 A
- parametar 99.07 (nominalni napon motora) unosimo 400 V
- parametar 99.08 (nominalna frekvencija motora) unosimo 50 Hz
- parametar 99.09 (nominalna brzina motora) unosimo 1470 rpm
- parametar 99.10 (nominalna snaga motora) unosimo 18,5 kW
- parametar 99.11 (nominalni faktor snage) unosimo 0,82

Za napajanje i regulaciju brzine asinhronog motora pumpe 1 za prebacivanje melase koristi se frekventni pretvarač. Frekventni pretvarači se u ovakvim pogonima biraju spram snage asinhronog motora. Na osnovu ovoga izabran je pretvarač kompanije „ABB“ iz serije frekventnih pretvarača ACS580. Za motor pumpe 1 za prebacivanje melase koristi se pretvarač koji ima oznaku ACS580-01-046A-4. Sa oznakom –UM1 označen je frekventni pretvarač motora +00\_PS\_05a, a sa oznakom –UM2 označen je frekventni pretvarač motora +00\_PS\_05b. Na slici 3. prikazano je ožičenje frekventnih pretvarača ACS580-01-046A-4.



Slika 3. Prikaz ožičenja frekventnih pretvarača ACS580-01-046A-4 (-UM1 i -UM2)

U nastavku će se akcenat staviti na podešavanje parametara koji su neophodni za pravilno upravljanje radom motora +00\_PS\_05a. Prvo se u parametru 07.03 izabere tip frekventnog pretvarača, a to je u ovom slučaju ACS580-01-046A-4. Zatim se u grupi parametara „99. Motor data“ unose nominalni podaci asinhronog motora +00\_PS\_05a koji se nalaze na natpisnoj pločici ovog motora. Ti parametri su:

- parametar 99.03 (tip motora) unosimo asinhroni motor
- parametar 99.06 (nominalna struja motora) unosimo 41 A
- parametar 99.07 (nominalni napon motora) unosimo 400 V
- parametar 99.08 (nominalna frekvencija motora) unosimo 50 Hz
- parametar 99.09 (nominalna brzina motora) unosimo 1470 rpm
- parametar 99.10 (nominalna snaga motora) unosimo 22 kW

- parametar 99.11 (nominalni faktor snage) unosimo 0,83

### 3.2. Izbor i podešavanje soft startera

U ovom delu biće prikazan odabir adekvatnih soft startera za motore koji pokreću pumpe za recirkulaciju melase. Za napajanje i pokretanje asinhronog motora pumpe 1 za recirkulaciju melase koristi se soft starter. Soft starteri se u ovakvim pogonima biraju spram snage asinhronog motora. Nominalne snage soft startera i asinhronih motora prave se tako da se mogu upariti. Na osnovu ovoga izabran je soft starter kompanije „SOLCON“ iz serije soft startera ISTART. Za motor pumpe 1 za recirkulaciju melase koristi se soft starter sa oznakom ISTART 61 480-230-24-0-S. Izgled soft startera ISTART 61 480-230-24-0-S motora pumpe 1 za recirkulaciju melase i motora pumpe 2 za recirkulaciju melase dat je na slici 4. Sa oznakom –UM5 označen je soft starter motora +00\_PM\_04, a sa oznakom –UM6 označen je soft starter motora +00\_PM\_06.



Slika 4. Izgled soft startera ISTART 61 480-230-24-0-S (-UM5 i –UM6)

U nastavku će se akcenat staviti na podešavanje parametara koji su neophodni za pravilno upravljanje radom motora +00\_PM\_04 i oni će biti prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Spisak podešenih parametara u soft starteru ISTART 61 480-230-24-0-S

| GRUPA PARAMETARA: MAIN PARAMETERS |                 |                                                                                                                                       |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parametar                         | Vrednost        | Opis                                                                                                                                  |
| Rated line volt                   | 400 Volt        | Napon na kom soft starter radi.                                                                                                       |
| Under voltage                     | 75% Rated volt  | Soft starter se isključuje kada napon padne ispod 75% od napona na kom soft starter radi.                                             |
| Over voltage                      | 110% Rated volt | Soft starter se isključuje kada napon poraste iznad 110% od napona na kom soft starter radi.                                          |
| Under current                     | 20% FLA         | Ako struja padne ispod 20% od nominalne struje motora soft starter će se isključiti. Ova vrednost važi samo tokom vremena pokretanja. |

|                  |               |                                                                                                                            |
|------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Overload protect | Enable always | Na ovaj način smo izabrali da se motor svo vreme štiti.                                                                    |
| Number of starts | 10            | Dozvoljeni broj startovanja motora u vremenu koje je definisano u parametru Start period.                                  |
| Start period     | 30 Minute     | Vremenski period u kom je moguće izvršiti startovanje motora onoliko puta koliko je podešeno u parametru Number of starts. |

### 3.3. Izbor PLC kontrolera za automatizaciju pogona

Da bi se izvršio pravilan izbor programabilnog logičkog kontrolera potrebno je da znamo od kojih sve komponenti se sastoji naš elektromotorni pogon za transport i skladištenje melase. Za automatizaciju pogona za transport i skladištenje melase biramo procesorsku jedinicu tipa CJ2M-CPU31 koja predstavlja jednu od deset procesorskih jedinica CJ2M serije PLC kontrolera kompanije OMRON. Dakle, da bi zadovoljili potrebu za digitalnim ulazima biramo tri digitalna ulazna signalna modula čija je oznaka CJ1W-ID211. Pošto centralna procesorska jedinica CJ2M-CPU31 na sebi nema digitalne izlaze, a nama je potrebno trideset dva digitalna izlaza izabraćemo dva digitalna izlazna signalna modula čija je oznaka CJ1W-OD211. Dakle, da bi zadovoljili potrebu za analognim ulazima biramo tri analogni ulazna signalna modula čija je oznaka CJ1W-AD081-V1. Pošto centralna procesorska jedinica CJ2M-CPU31 na sebi nema analogne izlaze, a nama su potrebna četiri analogni izlaza izabraćemo jedan analogni izlazni signalni modul čija je oznaka CJ1W-DA041. Izabrana konfiguracija PLC kontrolera prikazana je na slici 5.



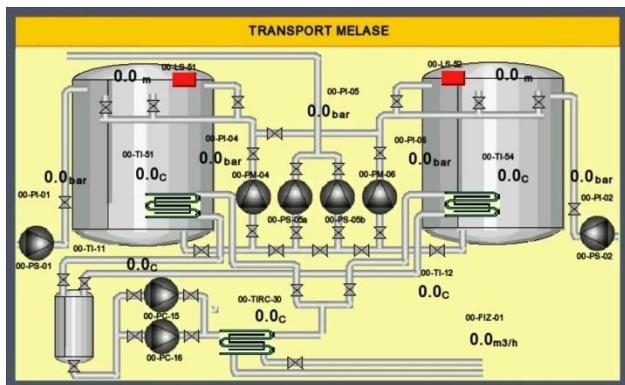
Slika 5. Konfiguracija PLC kontrolera za automatizaciju pogona za transport i skladištenje melase

### 3.4. Kontrolni panel, servisne i lokalne upravljačke kutije

Servisna kutija se montira na energetsom kablju koji ide od frekventnog pretvarača ili soft startera do asinhronog motora. U servisnoj kutiji se nalazi prekidač od 63 A na koji je montiran i pomoćni kontakt koji signalizira kada je servisni prekidač uključen. Svih šest servisnih kutija su identične, samo se razlikuju oznake kojima su obeležene u električnoj šemi. Za razliku od servisnih kutija, lokalne upravljačke kutije se razlikuju i njihov izgled i sastav zavise da li se koriste za preuzimanje, prebacivanje ili recirkulaciju melase. Pored servisne i upravljačke kutije za podešavanje i kontrolu rada pumpi koristi se i kontrolni



panel koji je smešten na vratima glavnog razvodnog ormana (GRO), tačnije na vratima četvrtog polja (+RO\_P4). Izgled početnog ekrana kontrolnog panela dat je na slici 6.



Slika 6. Izgled početnog ekrana kontrolnog panela

Da bi smo došli do parametara za podešavanje brzine pumpi za preuzimanje melase potrebno je da na početnom ekranu kontrolnog panela, koji je prikazan na slici 6. pritisnemo oznaku 00-PS-01 ili 00-PS-02. Ove oznake predstavljaju oznake za pumpe za preuzimanje melase. Pritiskom oznake 00-PS-01 ili 00-PS-02 otvara se ekran za podešavanje brzina pumpi za preuzimanje melase koji je prikazan na slici 7.



Slika 7. Izgled ekrana za pumpe za preuzimanje melase

Kao što se vidi na slici 7. na ekranu kontrolnog panela možemo podešavati brzine sa kojima će pumpe za preuzimanje melase da rade. Pošto ove pumpe rade u oba smera omogućeno je podešavanje brzine i za levi i za desni smer. U polje označeno žutom bojom unosimo procentualnu vrednost frekvencije i na taj način biramo kojom brzinom želimo da rade pumpe za preuzimanje melase.

#### 4. ZAKLJUČAK

Prilikom realizacije praktičnog dela rada uzeti su u obzir svi kriterijumi koje zahteva proizvodni proces u svom radu kao i karakteristike asinhronih motora koji se nalaze u elektromotornom pogonu za transport i skladištenje melase. Nakon toga izvršio se odabir adekvatnih frekventnih pretvarača i soft startera za odgovarajuće asinhronne motore. Analizirani su svi parametri korišćeni prilikom podešavanja i parametrizacije frekventnih pretvarača i soft startera pomoću kojih se izvršava bezbedan i pouzdan rad asinhronih motora. U pogonu za transport i skladištenje melase pored signala koje

dobijamo sa frekventnih pretvarača i soft startera postoje i signali koje dobijamo od raznih vrsta senzora koji daju određene informacije o stanju u pogonu. Da bi se te informacije mogle pravilno iskoristiti izvršen je odabir odgovarajućeg programabilnog logičkog kontrolera sa potrebnim digitalnim i analognim signalnim modulima koji zadovoljava sve uslove neophodne za automatizaciju ovog pogona. Na kraju je detaljno objašnjeno kako i na koji način se pokreću asinhroni motori u elektromotornom pogonu za transport i skladištenje melase korišćenjem kontrolnog panela, servisnih i lokalnih upravljačkih kutija.

Prikazani način realizacije elektromotornog pogona za transport i skladištenje melase ispunjava sve potrebne uslove koje ovaj pogon zahteva u svom radu i pruža bezbedan i efikasan način transporta i skladištenja melase. Pomoću ovog rešenja možemo lako puniti i prazniti rezervoare, kao i vršiti recirkulaciju melase u rezervoarima.

#### 5. LITERATURA

- [1] Strahil J. Gušavac, „Osnovni principi projektovanja u mrežama srednjeg i niskog napona“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2014.
- [2] Veran Vasić, Đura Oros, „Energetska elektronika u pogonu i industriji“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2012.
- [3] Darko Marčetić, Marko Gecić, Boris Marčetić, „Programabilni logički kontroleri i komunikacioni protokoli u elektroenergetici“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2016.
- [4] Vlado Porobić, „Programabilni logički kontroleri i komunikacioni protokoli u elektroenergetici – primeri sa rešenjima“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.
- [5] Dragan M. Marinković, „Programabilni logički kontroleri-uvod u programiranje i primenu“, Mikro knjiga, Beograd, 2017
- [6] Emil Levi, Vladan Vučković, Vladimir Strezoski, „Osnovi elektroenergetike-elektroenergetski pretvarači“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

#### Kratka biografija:



**Aleksandar Gelić** rođen je u Novom Sadu 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2021. god.



**Dejan Jerkan** je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata.

**REALIZACIJA ELEKTROMOTORNOG POGONA VRELOVODNOG KOTLA  
SNAGE 35 MW****REALIZATION OF ELECTRIC MOTOR DRIVE OF  
35 MW HOT WATER BOILER**

Darja Lazić, *Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu su predstavljene osnovne i kompleksne zaštite asinhronog motora, kao i njihova primena na konkretnom primeru projekta. Takođe, pokazano je povezivanje zaštitnih komponenti u softverskom programu Eplan. Prikazana je primena frekventnih pretvarača sa generisanim zaštitnim funkcijama. Dat je i osvrt na primenu programabilno logičkih kontrolera u sistemima automatizacije elektromotornih pogona, kao i implementacija SCADA sistema radi lakšeg upravljanja i vizualizacije samog elektromotornog pogona.

**Ključne reči:** Asinhroni motor, zaštita elektromotora, karakteristike asinhronog motora, programabilno logički kontroler, SCADA sistemi

**Abstract** – This paper presents the basic and complex protections of an induction motor, as well as their application on a specific project example. Also, the connection of protection components in the Eplan software program is shown. The application of frequency converters with generated protection functions is presented. The review of the application of programmable logic controllers in automation systems of electric motor drives is given, as well as the implementation of SCADA systems for easier management and visualization of the electric motor drive itself.

**Keywords:** Induction motor, motor protection, characteristics of an induction motor, programmable logic controller, SCADA systems

**1. UVOD**

Energetski pretvarači pretvaraju jedan vid energije u drugi i među njima su najbitniji obrtni energetski pretvarači (električni motori i generatori). Poseban problem u industriji predstavlja zaštita elektromotora. Ovaj problem je posebno izražen kod većih elektromotornih pogona, gde se zahteva velika bezbednost, kao i gde dolazi do velikih šteta prouzrokovanih prekidima u radu pogona. Najbitnije zaštite elektromotora su prekostrujna zaštita, zaštita od termičkog preopterećenja, zaštite od neujednačenosti struja i napona po fazama, zaštita od zaštita od pregrevanja namotaja i ležajeva motora, zaštita od vlage, kao i zaštita od vibracija. Jedan od bitnih aspekata zaštita elektromotora jeste primena frekventnih pretvarača i

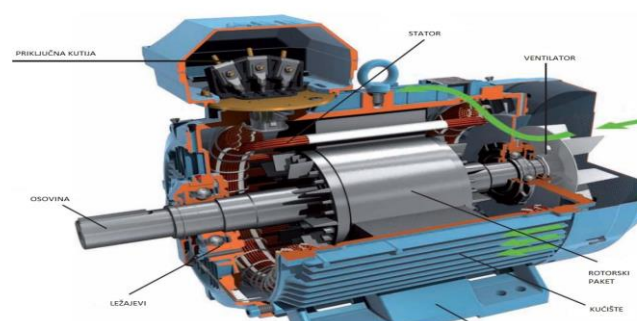
programabilno logičkih kontrolera (PLC-a) pri regulaciji rada elektromotora, što će, kao i zaštite biti pojašnjeno u narednim poglavljima na konkretnom primeru projekta.

**2. OPŠTA ZNANJA O AM**

Zbog svoje jednostavnosti i ekonomičnosti, asinhroni motori su najrasprostranjenije električne mašine. Osnovni princip rada električnih mašina je zasnovan na delovanju magnetnog polja na provodnike. Konstrukcija asinhronih motora se razlikuje u zavisnosti od vrste pogona, načina pokretanja motora, nominalnih parametara, uglova pod kojim motor radi i dr.

**2.1. Konstrukciona izvedba**

Električne mašine su cilindričnog oblika i sastoje se od statora i rotora. Stator asinhrona mašine je nepokretni deo električne mašine i izrađuje se u obliku šupljeg cilindra u čijoj se sredini nalazi rotor, pokretni deo mašine. Paketi dinam limova od kojih se sastoje stator i rotor, predstavljaju magnetno kolo električne mašine između čijih delova se nalazi vazdušni zazor, kroz koji se prenosi elektromagnetno polje sa pokretnog na nepokretni deo mašine i obrnuto. Na statoru i rotoru se nalaze namotaji koji su smešteni u žlebove i na osnovu načina izvedbe namotaja na rotoru, postoje mašine sa namotanim rotorom i kavezne asinhrona mašine.



Slika 1. Poprečni presek asinhrona mašine

U ovom radu će biti korišćena kavezna asinhrona mašina. Kod njih je rotor izgrađen od provodnika koji su sa obe strane kratko spojeni prstenovima i taj namotaj je od bakra ili aluminijuma i ne postoji električni pristup namotaju jer je kavezni namotaj kratko spojen [4].

U nastavku rada pažnja će biti posvećena raznim tipovima elektromotorne zaštite.

**3. ZAŠTITA**

Zaštitu motora ostvaruju uređaji koji imaju zadatak da spreče nedopušteno zagrevanje, trajno oštećenje i da svedu vreme isključenosti pogona na minimum.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

### 3.1. Vrste pogonskih stanja

Nenormalna stanja u elektroenergetskom sistemu su:

1. Stanja sa kvarom
2. Opasna pogonska stanja

Neki od karakterističnih kvarova asinhronih motora su:

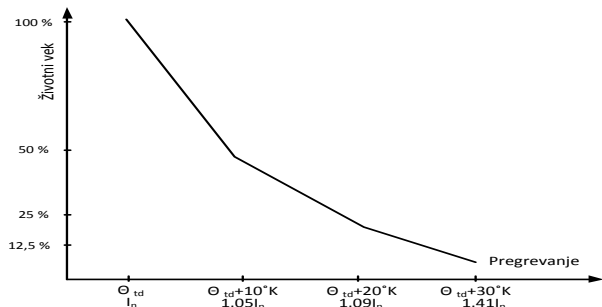
1. preopterećenje,
2. kratak spoj,
3. prekid ili ispad faze,
4. inverzni redosled faza,
5. neuravnoteženost struja po fazama,
6. kvar izolacije između namotaja,
7. previsok napon dodira na motoru,
8. prenizak ili previsok napon na motoru i nepotpun proces pokretanja motora.

Takođe, postoje kvarovi koji su povezani sa tehnološkim procesom, odnosno sa radnom mašinom:

1. prečesto pokretanje,
2. predugačko trajanje pokretanja,
3. zakočen rotor i
4. preveliko opterećenje na vratilu.

Za ove kvarove i nenormalna stanja je svakako potrebna zaštita, sa tim što se u zavisnosti od stepena kompleksnosti, funkcije koje ima, zaštita deli na tri nivoa, obaveznu, naprednu i kompleksnu.

Obavezne su zaštita od kratkog spoja, za koju se koriste topljivi osigurači i prekidači, zaštita od termičkog preopterećenja u kojoj je najrasprostranjeniji bimetalni rele, kao i zaštita od zemljospoja koja se izvodi pomoću relea nulte komponente struje priključenog na obuhvatni strujni transformator.



Slika 2. Ilustracija smanjenja životnog veka izolacije kao posledica njenog pregrevanja

Među napredne zaštite spadaju zaštita od neujednačenost faznih struja, od predugačkog pokretanja, od blokiranja rotora, kao i zaštita od preniske vrednosti struje [2].

Kompleksne zaštite se primenjuju kod pogrešnog redosleda faza, previsoke temperature motora, previsokog broja pokretanja, rasterećenja motora, neujednačenosti napona po fazama, ispada faze, preniskog ili previsokog napona, podopterećenja ili preopterećenja snage, kao i kod niskog ili visokog faktora snage.

Kod asinhronih mašina moguće je vršiti direktno merenje temperature motora. Za motore na niskonaponskoj mreži koriste se temperaturni merači (termistori), od kojih su najvažniji:

- Bimetalna sonda
- Poluprovodnički otpornici sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom, PTC sonda
- Poluprovodnički otpornici sa negativnim temperaturnim koeficijentom, NTC sonda.



Slika 3. Bimetalna sonda PTC sonda NTC sonda

Od kompleksnijih zaštita bitno je pomenuti zaštitu od vlage u motoru, pogotovo u pogonima sa hidro pumpama, kao i zaštitu od vibracija u motoru. Vibracije kod asinhronih motora su generalno nepoželjne jer intenziviraju proces habanja svih pokretnih elemenata, izazivaju lom mehaničkih komponenta, dovode do slabljenja razdvojitivih veza, dovode do otkaza elektronskih komponenta i sistema, dovode do oštećenja izolacije kablova koji se dodiruju, prouzrokuju buku i izazivaju oštećenja i oboljenja kod čoveka.

### 4. PRIMENA ZAŠTITE MOTORA NA KONKRETNOM PRIMERU PROJEKTA VRELOVODNI KOTAO 35 MW, UPRAVLJANJE I REGULACIJA, JKP SUBOTIČKA TOPLANA

U Toplani na prirodni gas, vrelovodni kotao predstavlja glavni deo postrojenja, koji se koristi za grejanje gradskih mreža. Vrelovodni kotao radi na nadpritisak, koji stvara potisni vazdušni ventilator. Posедуje motorne klapne na ulazu i izlazu vode. Uređaj koji služi za sagorevanje prirodnog zemnog gasa čine dva gorionika, armatura i automatika gorionika. Vazduh za sagorevanje gasa se dovodi preko ventilatora svežeg vazduha kotla, a njegovo vrtloženje se ostvaruje pomoću sistema lopatica. Pomoću centrifugalnog ventilatora i vazdušnih kutija gorionika se vazduh koji se zagreva dovodi do vazdušnih kutija gorionika. Kao neželjeni nusproizvod, tokom procesa tog sagorevanja se pojavljuju dimni gasovi koji se pomoću ventilatora recirkulacije dimnih gasova izbacuju iz kotla. U celom sklopu je veoma bitna i recirkulaciona pumpa kotla koja vrši recirkulaciju vode u kotlu, čime se postiže adekvatna temperatura vode za grejanje krajnjih potrošača. Bitno je da se za svaki sklop celokupnog sistema odabere adekvatna zaštita, kao i precizna automatizacija, kako ne bi došlo do havarije.

U projektu se zahtevala ugradnja i napajanje elektromotornih pogona vrelovodnog kotla 35MW, kao i upravljanje postrojenjem kotla preko programabilnog logičkog kontrolera (PLC-a), a vezu između PLC-a i operatera je trebalo predvideti preko ekrana za komandovanje dodirom (Touch Screen) i preko radne stanice (PC računar sa pratećom opremom) sa koje će se vršiti nadzor i upravljanje kompletnim sistemom iz SCADA okruženja.

U projektu su od već pomenutih zaštita elektromotora korišćene zaštita od kratkog spoja i termičkog opterećenja, zaštita od pregrevanja motora, kao i zaštita od vibracija. Sve ostale zaštite su obuhvaćene frekventnim pretvaračem, što će biti opisano u daljem radu [1].



Prekostrujnu zaštitu sa motorno zaštitnim prekidačem ćemo pokazati na primeru motora pokretača ventila od 0,75 kW, za koju je korišćen motorni zaštitni prekidač proizvođača Omron. Pri odabiru motornog zaštitnog pretvarača, dva glavna faktora su napon i struja natpisne pločice motora. Motor od 0,75 kW ima struju od 1,9 A, pa samim tim, pri odabiru motorno zaštitnog prekidača, uzet je onaj koji ima opseg podešavanja od 1,5-2,5 A.

Kao što je već spomenuto, zaštita motora od vibracija, može da izazove velika oštećenja izolacije motora, kao i samog motora. U pogonu je za merenje vibracija na prednjem i zadnjem ležaju motora, kao i na vratilu motora korišćen vibrosenzor proizvođača 'Hansford Sensors'. Digitalni signal sa senzora za detekciju vibracija motora, vibrosenzora, koje je doveden na ulaz PLC-a, usloviće pokretanje dela algoritma PLC-a koji prepoznaje da je došlo do poremećaja u radu motora, odnosno do povećanja vibracija motora, pa će početi sa preprogramiranom sekvencom isključenja elektro motora kako bi se isti zaustavio.



Slika 4. Pt100 senzor na ležaju motora

Za zaštitu od prevelike temperature u namotaje ili ležajeve motora može se ugraditi više senzora temperature čiji se signali šalju direktno u PLC ili u uređaj koji namenski obavlja funkciju detekcije previsoke temperature, a zatim prosleđuje svoj digitalni izlaz nadzornom sistemu. Na slici je prikazan Pt100 senzor ugrađen u ležaj motora.

## 5. PRIMENA ZAŠTITE MOTORA NA KONKRETNOM PRIMERU PROJEKTA POMOĆU FREKVENTNOG PRETVARAČA

Statički frekventni pretvarači su elektronski uređaji koji omogućavaju upravljanje brzinom obrtanja i regulaciju asinhronih i sinhronih elektromotora pretvarajući mrežni napon i frekvenciju, koji su fiksirane vrednosti, u promenljive veličine.

Elektromagnetna kompatibilnost (EMC) je sposobnost uređaja da rade bez uticaja ili izazivanja elektromagnetnih smetnji (EMI). Na frekventne pretvarače i motore se ugrađuju dodatni ulazni i izlazni filteri koji štede i samu napajачku mrežu i motor koji se napaja pomoću ovog frekventnog pretvarača od štetnih faktora. Ulazni filteri dizajnirani su za suzbijanje buke koju stvaraju ispravljač i PWM pretvarač frekventnog pretvarača, štiteći na taj način

mrežu, a izlazni filteri su dizajnirani da zaštite sam motor od buke koju generiše PWM pretvarač frekventnog pretvarača. Ulazni filteri su prigušnice i EMI filteri, a izlazni filteri su uobičajeni filteri, motorne prigušnice, sinusni filteri i dU / dt filteri.

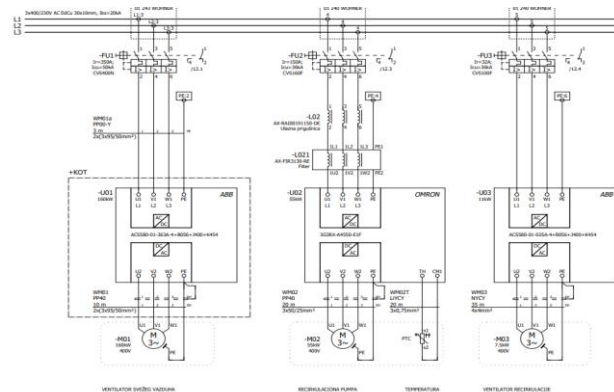
Za upravljanje i regulaciju recirkulacione pumpe kotla je korišćen frekventni pretvarač proizvođača Omron, serije RX. Pored njega je stavljena ulazna prigušnica, takođe istog proizvođača, kao i ulazni EMC filter, što se može vi-

deti na slici 5. Takođe, direktno u frekventni pretvarač je priključena PTC sonda za merenje temperature namotaja.



Slika 5. Frekventni pretvarači RX2 u elektro ormanu

Korišćenjem RX frekventnog pretvarača, postignuta je funkcija minimalnog usporavanja, funkcija povećanja limitiranja obrtnog momenta, kao i funkcija suzbijanja prekomerne struje, čime je omogućena veća zaštita elektromotora, kao i same opreme. Takođe, jedna od funkcija RX frekventnog pretvarača je da u slučaju kvara ili greške hardverski isključuje pretvarač, zaobilazeći centralno procesorsku jedinicu (CPU) i tako postiže funkciju sigurnog zaustavljanja (sve-stop).



Slika 6. Šema povezivanja frekventnih pretvarača

Za upravljanje i regulaciju ventilatora svežeg vazduha i recirkulacije je korišćen frekventni pretvarač proizvođača ABB model ACS580-01 koji u sebi ima integrisan EMC filter i linijsku prigušnicu.

## 6. PROGRAMABILNO LOGIČKI KONTROLER, PLC

PLC (programabilno logički kontroler) je mikrokontrolerski sistem u kome su i softver i hardver adaptirani industrijskom okruženju. Operativni sistem PLC-a podržava razne oblike komunikacionih protokola kao što su: RS485, PROFIBUS, MODBUS, Ethernet, TCP/IP... U upravljačkim sistemima na PLC se gleda kao na srce upravljačkog sistema.

PLC se u osnovi sastoji od centralne procesorske jedinice koja izvršava program, memorije u kojoj je smešten program i podaci nad kojima se vrši obrada, ulaznih i izlaznih interfejs jedinica na koje su direktno povezane ulazne i izlazne jedinice u polju, i komunikacionog interfejsa [3].

U primeru vrelovodnog kotla, PLC ima ulogu upravljanja funkcijama kotla i cirkulacionog sistema, a osim toga, takođe ima zadatak prikupljanja i memorisanja svih pogonskih događaja, alarmnih stanja, kao i funkciju



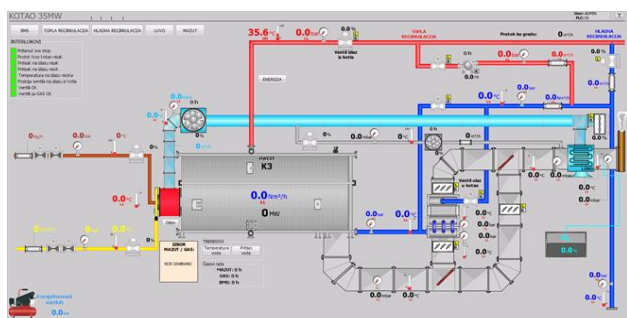
komunikacije sa SCADA sistemom. Zadavanje inicijalnih komandi, upisivanje parametara algoritma, prezentacija veličina analognih merenja, prikaz dijagrama u realnom vremenu, vrši se putem računara radne stanice (SCADA sistema) i putem ekrana za upravljanje dodirom ("touch screen"). Funkcije frekventnog pretvarača su takođe generisane u PLC-u, tako da su omogućene funkcije regulacije. Softverski se u PLC i komandni ekran upisuju kompletni algoritmi upravljanja. Sintetizovane su sve funkcionalne veze digitalnih davača iz periferije sistema (položaji krajnjih kontakata i sl.), obrađene su sve izmerene veličine parametara sistema (temperature, pritisci, protoci,

vibracije i dr.) i upisane granične vrednosti ovih veličina tako da one mogu uticati na funkcije upravljanja i funkcije alarmiranja ili zaštite postrojenja. Sintetizovana su i sva vremena zadržke delovanja.

U elektromotornom pogonu za realizaciju svih zahteva i zadataka je implementiran PLC proizvođača Omron, serije CJ2.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) predstavlja sistem za merenje, praćenje i kontrolu industrijskih sistema. Prikupljeni podaci se obično posmatraju na jednom ili više SCADA računara u centralnoj stanici i u realnosti sistem može da prati i upravlja i do stotinama hiljada ulazno-izlaznih vrednosti. Uobičajeni analogni signali koje SCADA sistem nadzire su nivoi, temperature, pritisci, brzine protoka i brzine motora.

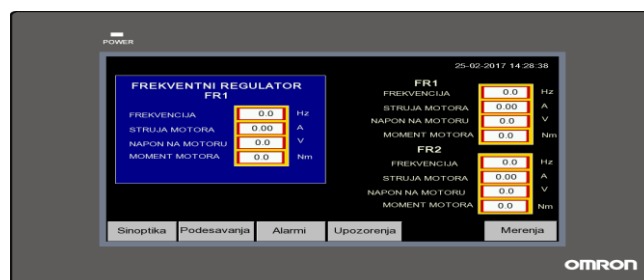
Učitavanjem Windows operativnog sistema, automatski se startuje FAST/TOOLS SCADA aplikacija. Klikom na desktopu na Operator Interface ili SCADA, startuje se grafički interfejs SCADA aplikacije na kom se dobija vizuelna reprezentacija pogona Kotla 35 MW. Sistem koji upravlja kotlom zove se BCS (**B**oiler **C**ontrol **S**ystem).



Slika 7. Vrelovodni kotao

Na slici 8. prikazan je ekran sinoptike vrelovodnog kotla, na kojem je prikazana približna konfiguracija kotla sa svim merenjima i upravljačkim uređajima. Merenje ima simbol termometra ako je u pitanju temperatura, barometra ako je u pitanju pritisak i merač protoka ako je u pitanju protok. Klikom na ove simbole otvara se ekran sa prikazom trenda odgovarajućeg merenja. Simboli termometra i barometra prikazuju aktuelnu vrednost merenja. Poseban upravljački sistem vodi proces rada gorionika (BMS – **B**urning **M**anagement **S**ystem) i sa tim sistemom komunicira sistem za kontrolu kotla (BCS – **B**oiler **C**ontrol **S**ystem) preko ProfiBus komunikacione mreže. Kao što smo već spomenuli, vibracije su veoma bitne, a pomoću SCADA sistema ih možemo pratiti na ekranu, kao i još mnogo drugih merenja i opcija. Takođe

operateri imaju mogućnost praćenja rada kotla i komandovanja pumpama i ventilima na operator panelu na vratima PLC ormara. Na ekranu se mogu pratiti alarmi i upozorenja, menjati podešavanja, komandovanje ventilima i još mnoge druge opcije, kao što su npr. prikazi merenja sa frekventnih regulatora...



Slika 8. Frekventni regulator pumpe tople recirkulacije

## 7. ZAKLJUČAK

U radu su obrađene osnovne i kompleksne zaštite asinhronih motora u elektromotornim pogonima u primeru projekta 'Vrelovodni kotao 35 MW, JKP Subotička Toplana', kako bi postrojenje imalo stabilan i pouzdan rad u procesu snabdevanja grada toplotnom energijom. Takođe su u konkretnom primeru projekata date šeme povezivanja izabranih zaštita i njihov prikaz u softverskom programu Eplan.

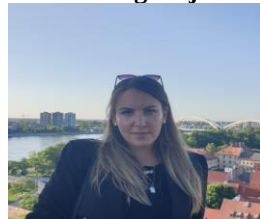
Kao vrlo bitan faktor obrađena je i primena frekventnog pretvarača, koji se pored automatizacije i upravljanja koristi kao zaštita samog asinhronog motora, a prikazane su opcije zaštite koje ima integrisane unutar svog algoritma upravljanja. Prikazani su koncepti programabilnih logičkih kontrolera u sistemima automatizacije elektromotornih pogona, kao i SCADA sistemi.

Kao rezime samog rada se može zaključiti da je pored izbora elektromotora, veoma bitno i odabrati adekvatne zaštite, pravilno ih implementirati i povezati u sistem upravljanja kako bi korisnik mogao brzo i jednostavno uočiti kada dodje do nepravilnosti rada.

## 8. LITERATURA

- [1] Interni dokumenti projekta "JKP Subotička Toplana"
- [2] Strahil J. Gušavac, Osnovni principi projektovanja u mrežama srednjeg i niskog napona, FTN Novi Sad, Novi Sad 2014
- [3] Darko P. Marčetić (2013), Programabilno logički kontroleri i komunikacioni protokoli u elektroenergetici, FTN izdavaštvo
- [4] Veran Vasić, Đura Oros (2012) Energetska elektronika u pogonu i industriji FTN Izdavaštvo

### Kratka biografija:



Darja Lazić rođena je 1992. godine u Kruševcu. Diplomski rad iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – energetska elektronika i električne mašine je odbranila 2018. godine.

**RAZMENA ZDRAVSTVENIH KARTONA PACIJENTA PRIMENOM BLOCKCHAIN  
TEHNOLOGIJE****EXCHANGE OF PATIENT HEALTH RECORDS USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**

Luka Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljeni su potencijali primene blockchain tehnologija u razmeni zdravstvenih kartona pacijenta. Objašnjenje su teorijske osnove i navedeni izazovi koji se susreću u ovom domenu. Opisana je terminologija univerzalna za sve grane primene kao što su blockchain tehnologije, Hyperledger Fabric projekat i koncept pametnih ugovora. Pokazane su najznačajnije arhitekture iz discipline razmene zdravstvenih kartona pacijenata. Na kraju je prikazan opis implementacije sistema i završna razmatranja.

**Ključne reči:** blockchain, pametni ugovori, Hyperledger Fabric, medicina, lični zdravstveni zapis (PHR), zdravstveni karton, razmena zdravstvenih podataka

**Abstract** – This paper presents potentials of blockchain technology adoption in patient's health record exchange. Theoretical explanations are given and challenges that are met in this domain are listed. Terminology universal for all application areas such as blockchain, Hyperledger Fabric and smart contract are described. The most significant proposed solutions in the field of patient health records exchange are shown. In the end, the paper represents newly invented software and provides final considerations.

**Keywords:** blockchain, smart contracts, Hyperledger Fabric, medicine, personal health record (PHR), electronic health record (EHR), health data exchange

**1. UVOD**

U svetu zdravstvene nege postoje dva ključna zahteva koja moraju biti prepoznata: sigurnost podataka i vlasništvo nad podacima [1]. Pitanje vlasništva ogleda se u tome da li nalazi pregleda pacijenta pripadaju njemu ili su vlasništvo ustanove gde su ona urađena. Sve što predstavlja zdravstveno stanje pacijenta čini lične i osetljive informacije čija zloupotreba i neovlašćeno korišćenje mogu narušiti privatnost i dostojanstvo pojedinca. U članku objavljenom 2019. god. u stručnom časopisu, izneto je da je tokom 2018. u SAD prijavljeno dosta nedozvoljenih upada u medicinske informacione sisteme što je za posledicu imalo zlonamerni pristup u oko 13 miliona zdravstvenih zapisa [2]. Zadatak ovog rada jeste nastajanje pouzdane platforme za razmenjivanje zdravstvenih kartona pacijenta korišćenjem blockchain

tehnologija. Glavna motivacija za istraživanje sprovedeno u ovom radu jeste utvrđivanje potencijala primene u ovom domenu, kao i identifikovanje ograničenja i rizika.

**2. BLOCKCHAIN**

Blockchain je struktura podataka koja stvara pouzdane, distribuirane digitalne glavne knjige za asete i druge podatke. To je nepromenljivi zapis digitalnih događaja koji se međusobno dele između različitih strana. Može se ažurirati samo konsenzusom većine učesnika u sistemu i kada se unesu, informacije je vrlo teško izbrisati [4]. Blockchain je predstavnik distribuiranih tehnologija čija odlika je da su svi podaci koji se skladište replicirani u cilju čuvanja istovetnih podataka na više mesta u mreži. Blockchain čini uređena lista blokova gde je svaki jedinstveno predstavljen svojim kriptovanim hešom. Svaki blok pokazuje na blok koji je nastao pre njega formirajući na taj način lanac blokova [5]. Blok se sastoji od više transakcija grupisanih po vremenu nastanka. Jednom kada je blok formiran i dodat na kraj lanca, nije moguće menjati ili poništavati transakcije unutar bloka. Vrsta blockchaina koja je zbog svojih osobina pogodna za korišćenje u zdravstvu i koja će biti opisana je Hyperledger Fabric.

**2.1. Hyperledger Fabric**

Hyperledger Fabric [7] predstavlja distribuiranu platformu koja je sposobna da izvršava pametne ugovore. Hyperledger Fabric koristi privatnu blockchain. Fabric arhitektura organizovana je na modularnom proširivom principu što omogućava proizvoljnu implementaciju komponenti sistema. Radna grupa Hyperledger fondacije je u svom radu [8] komponente arhitekture razvrstala na: konsenzus sloj, sloj pametnih ugovora, komunikacioni sloj, sloj čuvanja podataka, kriptografsku apstrakciju, servis identiteta, servise polisa, API-i i interoperabilnost. Mreže u Hyperledger Fabric-u su sa kontrolisanim učešćem u mreži i iz tog razloga svi učesnici moraju biti u nekoj organizaciji. Da bi se obezbedila poverljivost unutar mreže i razmena podataka samo između određenih organizacija, mreže mogu sadržati više kanala komunikacije koji predstavljaju podmreže. Kanalima pripadaju čvorovi koji su u vlasništvu organizacija, a u zavisnosti da li organizacija formira više kanala mogu biti u sastavu više kanala. Certificate Authority (CA) odnosi se na zasebno telo i njima se opisuju organizacije i rukuje identitetima njihovih pripadnika [7]. Izdavanjem sertifikata od strane elemenata akteri su predstavljeni u mreži. Strukture koje sadrže sertifikate i uloge svih aktera zovu se Membership Service Provider (MSP) i deo su arhitekture [7]. Čvor koji učestvuje u sortiranju transakcija na-

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Sladić, vanr. prof.

ziva se *ordering* čvor i sa ostalima gradi *ordering* servis. Fundamentalni elementi svake *Hyperledger* mreže čine čvorovi (*peers*), jer sadrže kopije glavne knjige (*ledger*) i pametne ugovore (*smart contract*). *Ledger* čuva sve vrednosti atributa bitnih informacija i istoriju transakcija. Detaljnije, u *Fabric* radnom okviru *ledger* se sastoji od dva dela: globalno stanje objekata i lanac blokova [7]. Globalno stanje objekata (*world state*) predstavlja skladište podataka koje čuva aktuelno stanje vrednosti objekata. Lanac blokova (*blockchain*) sadrži trajni zapis svih transakcija koje su se realizovale u sistemu. Transakcije pružaju istorijski uvid u sve promene globalnog stanja objekata i definišu njegovo trenutno stanje. *Hyperledger Fabric* koristi Raft [9] mehanizam za postizanje konsenzusa. Raft je predstavnik *vote-based* algoritama. Odlika *vote-based* algoritama jeste da se utvrđivanje konsenzusa zasniva na uzajamnoj komunikaciji između čvorova i da se odluke realizuju glasanjem.

### 3. PAMETNI UGOVORI

Pametni ugovori predstavljaju izvršivi kod koji se pokreće u *blockchainu* kako bi se olakšali, izvršili i primenili uslovi sporazuma. Glavni cilj pametnih ugovora jeste automatsko izvršavanje stavki ugovora kada se određeni uslovi ispune [5]. Strane koje učestvuju u dogovoru mogu definisati svoje odnose na samoizvršivi način, bez dvosmislenosti u ugovorenim obavezama i bez uticaja i posredovanja spoljnih entiteta [10]. Ideja pametnih digitalnih ugovora izložena je prvi put 1994. godine u radu Nika Saba, ali je tek ekspanzijom *Ethereuma* aktualizovana [5]. Pametni ugovori pretvoreni u kod uskladišteni su i replicirani u mreži. Izvršavaju se u *blockchainu* i imaju uticaja na artikle koji su uključeni ugovorom [6]. Pametni ugovori definišu poslovnu logiku koja se izvršava i dodaju nove činjenice u *ledger*. Pozivanjem pametnih ugovora pokreću se transakcije, a *Hyperledger Fabric* razlikuje tri vrste transakcija: *deploy*, *invoke* i *query* [7].

### 4. UPOTREBA BLOCKCHAINA U ZDRAVSTVU

Prva istraživanja na temu primene *blockchaina* u zdravstvu radila su se 2015. godine [4]. Estonska vlada u saradnji sa kompanijom Guardtime još je 2016. godine napravila softver za osiguranje medicinskih dokumenata svojih stanovnika [4]. Procenjuje se da se 455 milijardi dolara izgubi u globalnoj zdravstvenoj zaštiti svake godine usled prevara, rasipanja i zloupotreba [4]. Pomoću *blockchaina* zadovoljavaju se potrebe za poverenjem i bezbednošću sistema i omogućeno je praćenje zdravstvenih aktivnosti [4]. Oslanjajući se na osobine *blockchain* platforme možemo čuvati podatke bez bojazni da će se dosijei pacijenata menjati i kontrolisati razmenu bez zloupotreba. Još jedan benefit od upotrebe distribuiranih tehnologija u zdravstvu jeste da uskladišteni pregledi nisu u ekskluzivnom vlasništvu nijednog entiteta u mreži. Pitanja vlasništva dokumenata i način rukovanja medicinskim nalazima i uređivanje odnosa između zainteresovanih strana mogu se urediti u sistemu [3]. Zahvaljujući *blockchain* platformi postoji mogućnost praćenja procesa lečenja pacijenta, čime se smanjuju šanse za neovlašćenim pristupom tim osetljivim informacijama [4]. Rad Frosta i Salivena [4] razvrstao je zainteresovane strane iz sfere zdravlja na 5 grupa: administracija, medicinsko osoblje,

zdravstvene institucije, proizvođači lekova i pacijenti. Za ostvarivanje punog potencijala, članovi zdravstvene i IT industrije udružuju se u radne konzorcijume u cilju promovisanja zajedničkog ekosistema za istraživanje i upravljanje standardima. U sistematskoj studiji [11] tabelarno su sumirani benefiti korišćenja ovih tehnologija, a oni su: decentralizacija, poboljšanje sigurnosti podataka i privatnosti, vlasništvo nad podacima, dostupnost i robusnost, transparentnost i poverenje, proverljivost podataka. U radu autora Yang i Yang [12] nabrojani izazovi koje su oni naveli su: poverljivost, privatnost, kontrola pristupa, integritet, potvrda identiteta i autentifikacija, transparentnost i praćenje, interoperabilnost.

#### 4.1. Pregled postojećih rešenja

Top 5 *use case*-ova po studiji [4] koji imaju potencijal primene u medicini su: *Healthcare payment and Claim adjudication* (izdavanje faktura i kontrolu plaćanja zdravstvenih usluga), *Healthcare professional credentialing* (licenciranje medicinskog radnika), *Drug and medical device supply chain* (lanci snabdevanja preparata), *PHR and Health data exchange* (Pregledi pacijenta i razmena podataka), *Research and Clinical Trials* (Istraživanja i klinička ispitivanja). U ovom poglavlju biće predstavljeni radovi čija su rešenja uticala na formiranje sopstvene arhitekture. Koristeći opisanu terminologiju, slučaj korišćenja koji je u fokusu jeste *PHR and Health data exchange*.

U radu [13] je predložena upotreba BlochIE-a, *blockchain* zasnovane platforme za razmenu informacija zdravstvene nege. Izvor informacija predstavljaju pregledi obavljeni od strane stručnih lica ili podaci dobijeni od monitoring uređaja. Kako bi se zadovoljili privatnost i autentifikacija pregleda, predloženo je *on-chain* i *off-chain* čuvanje podataka. Kada novi pregled nastane u bolnici, kreiraju se tri kopije. Prva kopija se čuva u bazi podataka bolnice, druga se šalje pacijentu, a treća se ubacuje u *blockchain* mrežu. Prve dve kopije sadrže sve detalje, dok je ona koja se dodaje u lanac blokova specifične strukture. Ona sadrži vreme nastajanja, heširanu vrednost originalnog pregleda, kriptografske potpise bolnice i pacijenta, ključne reči i opis. Ova kopija postoji kao dokaz da pregled postoji u sistemu. Prednosti ovog mehanizma čuvanja pregleda su sledeće. Prvo, kompletan izveštaj lekarskog pregleda nije javno dostupan čime je očuvana privatnost pacijenta. Drugo, veličina kopije koja se pohranjuje u *blockchainu* značajno je manja od originalnog zapisa, što može bitno uticati na poboljšanje performansi. Treće, poređenjem heširane vrednosti i originalnog pregleda moguće je autentifikovati pregled i proveriti da li je došlo do neovlašćenih izmena

Sledeći rad opisuje Medrec [14] radni okvir i detaljnije prikazuje strukturu ugovora. Predviđeni scenario korišćenja jeste da pružalac usluge, tzv. provajder, dodaje novi zapis pacijenta koji se kasnije može odobriti za deljenje. Ugovori kojima se prati promena stanja i podešava prava pristupa su: *Registrar Contract* (RC), *Summary Contract* (SC) i *Patient-Provider Relationship* (PPR). RC predstavlja katalog svih učesnika u sistemu gde se za svakog čuva naziv i adresu SC ugovora korisnika. SC pored polja koje određuje čiji je ugovor, čuva listu referenci svih ugovora koji modeluju odnose između vlasnika ugovora i drugih korisnika. Relacije

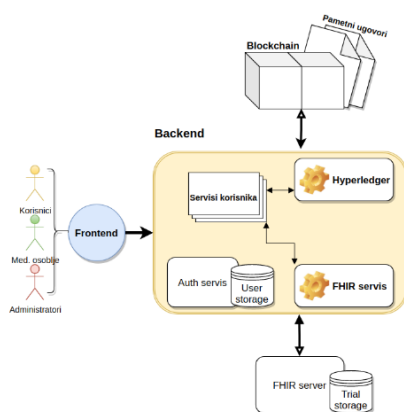
između pacijenata i provajdera opisane su PPR ugovorom. On ima strukturu koja mapira adrese učesnika koji žele pristup na pokazivače pregleda. Svaki pokazivač ima tekst upita i heširanu vrednost podataka pregleda kao dokaz da originalni dokument nije uklonjen ili menjan.

## 5. SPECIFIKACIJA I IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Funkcionalnosti koje pruža aplikacija su sledeće. Nakon obavljenog pregleda, medicinsko osoblje unosi zapis pacijenta u sistem. Da bi dodavanje pregleda bilo uspešno, neophodno je prethodno uključiti instituciju nege u zajednicu (zadatak administratora sistema) i dodati osoblje (obaveza administratora ustanove). Svi uneti pregledi pacijenta su njegovo vlasništvo, gde on za svaki definiše da li će biti moguće deljenje drugim članovima. Medicinski radnici i drugi registrovani korisnici imaju pravo pretraživanja pregleda. Informacije koje se javno prikazuju zainteresovanim korisnicima sadrže samo osnovne metapodatke pregleda, bez zalaženja u detalje i intimu pacijenta. Ukoliko korisnik želi da pristupi punom profilu pregleda, upućuje zahtev. Pacijent za novopridošle zahteve donosi odluku da li omogućava prikazivanje pregleda drugima. Ukoliko su odobreni, postoji mogućnost definisanja dodatnih uslova uvida u preglede. Statusi svih podnetih zahteva se prikazuju njihovom podnosiocu i za one koji su dobili potvrđan odgovor dozvoljava se dobavljanje sa lokacije gde se pregledi nalaze.

### 5.1. Opis arhitekture sistema

Organizacija arhitekture sistema pokazana je na slici 5.1. Ulaznu tačku sistema predstavlja frontend aplikacija koja koristi *React* biblioteku. *Backend* aplikacija implementirana sa *Spring Boot* radnim okvirom čini centralnu tačku. Ona sadrži dva servisa koji komuniciraju sa eksternim svetom. Softver primenjuje *onchain* i *offchain*

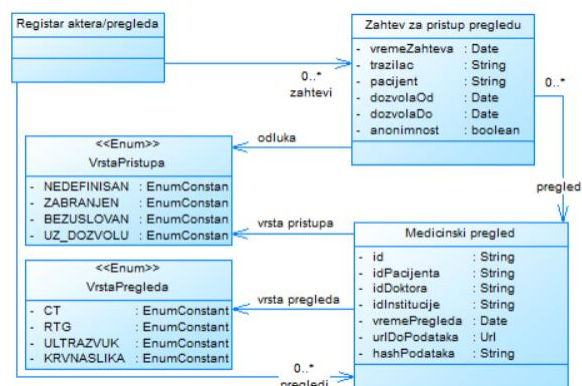


Slika 5.1 Arhitektura sistema

čuvanje pregleda. *Offchain* objekti su kompletni podaci pregleda izvan *blockchaina* (slika 5.1, FHIR server). Izgled *onchain* entiteta u mreži je prikazan na slici 5.2. Uloga Hyperledger servisa je da poziva blockchain mrežu i pametne ugovore koji su u njoj.

Za potrebe ovog rada, *Hyperledger Fabric* razvojni okvir je odabran za organizaciju mreže. Hyperledger Fabric je privatni blockchain što je iz ugla rukovanja osetljivim medicinskim informacijama važno, jer ne dozvoljava nekontrolisani pristup nikome u sistemu. Ova platforma omogućava upravljanje identitetima učesnika mreže.

Podržano je izdavanje sertifikata i dodeljivanje istih korisnicima koji su prethodno prihvaćeni i dodati u sistem. Sledeći bitan razlog odabira ove strukture je bogata podrška razvoju pametnih ugovora.



Slika 5.2 Onchain entiteti

Zadatak FHIR servisa (slika 5.1) je slanje i dobavljanje pregleda sa servera na kome se pohranjuju podaci. FHIR servis koristi API [16] koji zahteva da razmena između klijenta i servera bude u skladu sa FHIR (*Fast Healthcare Interoperability Resources*) standardom koji definiše format podataka za razmene informacija o pregledima pacijenata.

### 5.2. Pisanje pametnih ugovora

Za podešavanje blockchain infrastrukture ispraćeno je uputstvo za pokretanje testne mreže iz dokumentacije [7] i iskorišćeni su fajlovi preuzeti sa zvaničnog repozitorijuma. Zamišljeno je da u zajednici inicijalno učestvuju dve organizacije uz opciono uključivanje treće. Mrežu grade jedan *orderer* čvor koji vodi računa o sortiranju transakcija i po jedan *peer* čvor za svaku organizaciju.

Za izgradnju pametnih ugovora u Hyperledger Fabricu podržano je više programskih jezika (Go, Javascript, Java). U ovom radu korišćena je Java gde se pomoću Gradle plugina generiše sadržaj koji predstavlja izvor za pakovanje ugovora za distribuciju (komanda *peer lifecycle chaincode package*). Da bi klasa bila proglašena pametnim ugovorom mora biti anotirana sa *@Contract* i da implementira *ContractInterface*. Radna jedinica za izvršavanje pametnih ugovora u Fabric-u nazvana *chaincode* može sadržati više ugovora u jednom kontejneru. Ulazne tačke metoda klase ugovora moraju se anotirati sa *@Transaction* da bi se mogle koristiti. Funkcije po tipu mogu biti *submit* ili *evaluate*. *Submit* metode sadrže akcije koje kao ishod imaju promenu globalnog stanja i iz tog razloga se obavezno čuvaju kao transakcije u blokovima. Zadatak *evaluate* anotiranih funkcija je dobavljanje objekata i za posledicu nemaju izmenu stanja. Namena *createContext* metode interfejsa je kreiranje konteksta za ugovore. Uloga *Context* klase je komunikacija sa mrežom, tekućom transakcijom i skladištem podataka. *ClinicalTrialContext* nasleđuje osnovnu *Context* klasu i dodaje dva atributa (listing 5.1).

```
private ClinicalTrialDAO clinicalTrialDAO;
private ClinicalTrialAccessRequestDAO
clinicalTrialAccessRequestDAO;
```

Listing 5.1 Atributi *ClinicalTrialContext* klase



Ova dva polja čine sloj za interakciju sa bazom podataka za dva onchain entiteta (slika 5.2). Metode za operacije koje ažuriraju stanje enkapsulirane su u CRUD, a upiti u Query klasama. Funkcije ClinicalTrialDAO su: dodavanje, izmena, dobavljanje entiteta pregleda, proveravanje da li objekat pod tim ključem postoji i pretraživanje osnovnih podataka pregleda. ClinicalTrialAccessRequestDAO radi: dodavanje, čitanje zahteva pristupa, proveru da li postoji, izmenu entiteta unoseći odluku o zahtevu i slanje upita. Rezultati upita vraćaju poslate zahteve korisnika i one adresirane na njih.

### 5.3. Pozivanje pametnih ugovora

Komponenta u glavnoj backend aplikaciji koja je zadužena za pozivanje pametnog ugovora je HyperledgerService. Da bi se pokretale transakcije mora se prethodno obaviti povezivanje na kanal komunikacije i dobiti odgovarajući pametni ugovor. Listing 5.2 sadrži deo komandi za povezivanje sa mrežom. Gateway.Builder klasa koristeći identitet učesnika iz walleta i konfiguracioni fajl organizacije gradi parametre veze. Svaki učesnik u sistemu mora pripadati nekoj organizaciji mreže. Ukoliko korisnik nema još uvek svoj wallet, potrebno je odraditi registraciju u sistem. NetworkConfigPath promenljiva sadrži putanju do fajla koji sadrži profil organizacije u mreži. Ovaj struktuirani dokument (yaml) se generiše prilikom podizanja blockchain-a. Atributi koji su prisutni sadrže ime klijentske organizacije, identifikator svoga MSP i sve podatke o čvorovima i CA telima koji uključuju imena, url putanje i sertifikate. Posle uspešnog uspostavljanja veze, zahteva se željeni kanal gde se nalazi chaincode instanica, a potom i pametni ugovor pod traženim imenom i pozivaju se odgovarajuće metode.

```
builder
  .identity(wallet, userWalletIdentity)
  .networkConfig(networkConfigPath)
  .discovery(true);
Gateway gateway = builder.connect();
```

Listing 5.2 Komande API-ja za povezivanje na mrežu

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljeni su potencijali nastanka platforme za razmenjivanje zdravstvenih kartona pacijenta koristeći *blockchain tehnologije*. Iako je predloženo rešenje pružilo odgovore na neke zahteve i izazove, prisutni su preostali problemi na koje bi trebalo obratiti pažnju.

Postojeći sistem ima jedan pametni ugovor (slika 5.2, *Registar aktera/pregleda*) kome su dužni svi da se obraćaju. Ova forma ugovora nije lična i nije lako utvrditi na koga se odnose uređena prava i obaveze. Razlog ovakvog ustrojstva ugovora je da tokom *Fabric* upita ka bazi podataka, svi pregledi budu obuhvaćeni, odnosno da su deo istog prostora imena. Bolje rešenje predstavljala bi organizacija ugovora kao u obrađenim arhitekturama gde bi postojao registar koji bi čuvao adrese ugovora svakog učesnika koji bi dalje regulisali odnose između korisnika i drugih aktera. Najvažniji problem koji se u ovom slučaju pojavljuje je kako napraviti mehanizam pretrage pregleda koji se nalaze na više različitih mesta.

Postoji nekoliko stvari koje bi trebalo unaprediti proširenjem softverskog rešenja. Iskorač u obezbeđivanju

osetljivih informacija pregleda bio bi šifrovanje pojedinačnih objekata posebnim ključevima korisnika ili pregleda umesto trenutnog simetričnog ključa aplikacije. U tom scenariju onaj kome bi bio omogućen pristup pregledu dobijao bi ključ za dešifrovanje. Tako uređen tok razmene značio bi neophodnost čuvanja i kontrole davanja asimetričnih ključeva i njihovog povezivanja sa učesnicima i pregledima. Poželjno bi bilo uvesti model podsticanja dobrovoljnog deljenja informacija pregleda tako da oni koji to učine imaju beneficije u zajednici.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6764776/> (pristupljeno u martu 2021)
- [2] <https://www.hipaajournal.com/analysis-of-healthcare-data-breaches/> (pristupljeno u martu 2021)
- [3] M. Holbl, M. Kompara, A. Kamisalic, L. Zlatolas, A Systematic Review of the Use of Blockchain in Healthcare, 2018
- [4] Frost & Sullivan, Global Blockchain Technology Market in the Healthcare Industry, 2018–2022, 2019
- [5] M. Alharby, A. Aldweesh, A. van Moorsel, Blockchain-based smart contracts: A systematic study, 2018
- [6] T. Mikula and R. H. Jacobsen, Identity and access management with blockchain in electronic healthcare records, 2018
- [7] <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/whatis.html> (pristupljeno u martu 2021)
- [8] [https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2017/08/Hyperledger\\_Arch\\_WG\\_Paper\\_1\\_Consensus.pdf](https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2017/08/Hyperledger_Arch_WG_Paper_1_Consensus.pdf) (pristupljeno u martu 2021)
- [9] <https://raft.github.io/> (pristupljeno u aprilu 2021)
- [10] L. Zhou, L. Wang, Y. Sun, MISTore: a Blockchain-Based Medical Insurance Storage System, 2018
- [11] C. C. Agbo, Q. H. Mahmoud, J. M. Eklund, Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review, 2019
- [12] H. Yang, B. Yang, A Blockchain-based Approach to the Secure Sharing of Healthcare Data, 2017
- [13] J. Shan, Y. Yanni, M. Mingyu, BlochIE: a BLOCKchain-based platform for healthcare information Exchange, 2018
- [14] A. Azaria, A. Ekblaw, T. Vieira, A. Lippman, MedRec: using blockchain for medical data access and permission management, 2016
- [15] S. A. Anastasia Theodouli, K. Moschou, K. Votis, D. Tzovaras, On the Design of a Blockchain-Based System to Facilitate Healthcare Data Sharing, 2018
- [16] <https://hapi.fhir.io/hapi-fhir/docs/> (pristupljeno u martu 2021)

### Kratka biografija:



**Luka Jovanović** rođen je u Novom Sadu 1996. godine. Osnovne akademske studije završio je 2019. god. na Fakultetu tehničkih nauka. Master rad iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarstvo i automatika odbranio je 2021. godine.  
kontakt: luka.ra109@uns.ac.rs

**PROSTORNE KARAKTERISTIKE ZVUKA I RAZLIKE IZMEĐU BINAURALNE I STEREO REPRODUKCIJE****SPATIAL CHARACTERISTICS OF SOUND AND THE DIFFERENCE BETWEEN BINAURAL AND STEREO REPRODUCTION**

Milan Marković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu se opisuje binauralna tehnologija, njeno razlikovanje od stereofonskog koncepta, kao i studijske tehnike snimanja i reprodukcije snimaka načinjenih veštačkom glavom

**Ključne reči:** Binauralna tehnologija, stereofonija, veštačka glava

**Abstract** – The paper describes: studio techniques of recording and reproducing audio signals made with an artificial head, differences between stereophony and binaural and details about electroacoustic signal reproduction.

**Keywords:** Binaural, stereophony, artificial head, dummy head

**1. UVOD**

Sve češće se susrećemo sa sintagmom – virtuelna realnost. Često je prva asocijacija na tu sintagmu nekakva vizuelna tehnologija. Međutim, snimanje i reprodukcija zvučnih signala je, takođe, nešto što je prilično akutno. Ideja da se zvučni signali predstave na takav način da verno opišu jedan zvučni događaj je stara stotinama godina unazad, a tek danas imamo odgovarajuću tehniku i tehnologiju da je akutelizujemo na pravi način. Da bi se to postiglo, razvijeno je nekoliko tehnika, kao što su stereofonske i binauralne tehnike snimanja i reprodukcije. Popularizacijom interneta porastao je broj binauralnih sadržaja i interesovanje za njih. Može se reći da binauralni koncept predstavlja najdirektniji pokušaj prenosa prostornih informacija. Kompanije se godinama utrkuju koja će da napravi najbolju veštačku glavu, a nesvesno konvergiraju ka standardizovanom konceptu.

U ovom radu ćemo se upoznati sa osnovama binauralnog snimanja i reprodukcije, sa prostornim karakteristikama zvuka i elektroakustičkom reprodukcijom zvučnih signala.

**2. PROSTORNE KARAKTERISTIKE ZVUKA**

Naše čulo sluha je veoma moćno čulo, pomaže nam da komuniciramo sa drugim ljudima i prirodom, prepoznamo opasnost, da sarađujemo i uživamo u raznim zvukovima.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vlado Delić, red. prof.

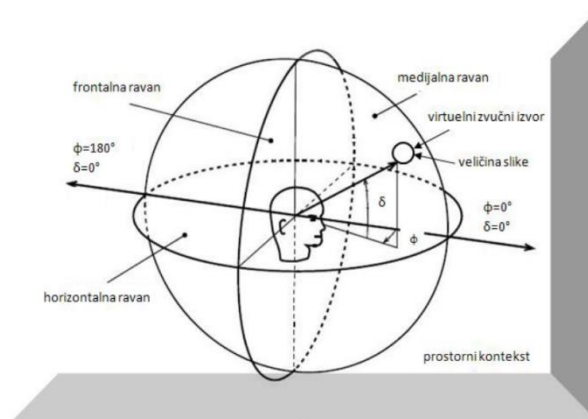
Ali ono što je takođe bitno jesto to da pomoću čula sluha mi imamo mogućnost da odredimo pravac, udaljenost i dimenzije nekog zvučnog izvora.

Prostorno razlikovanje i prepoznavanje izvora nazivamo – prostorno slušanje, a sposobnost koja nam to omogućava zovemo – binauralna lokalizacija.

Kao što smo rekli, pomoću čula sluha, možemo da odredimo poziciju izvora zvuka u 3D prostoru. Uši možemo smatrati senzorima zvuka prostorno razmaknutim, a glavu preprekom između njih. To predstavlja nekakvu fizičku postavku za – binauralno (prostorno) slušanje.

Zahvaljujući binauralnom slušanju čulo sluha ima sposobnost određivanja pravca iz koje zvučni talas nailazi.

Uvešćemo koordinatni sistem glave slušaoca i definišaćemo horizontalnu, medijalnu i frontalnu ravan slušaoca, a sve moguće pravce i smerove nailaska talasa na glavu slušaoca odredićemo azimutom  $\Phi$  i elevacijom  $\delta$ , baš kao na Ilustraciji 1, kako bismo se bolje snašli u nastavku.



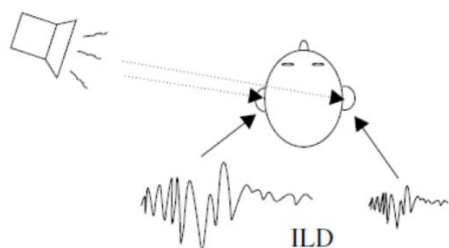
Ilustracija 1 - Koordinatni sistem glave slušaoca

**2.1. Određivanje pravca, udaljenosti i dimenzija zvučnog izvora**

Da bismo odredili pravac nekog zvučnog izvora možemo iskoristiti nekoliko poznatih metoda.

Jedna je određivanje pravca pomoću razlike u intenzitetu zvuka. Osećaj pravca pomoću razlike u intenzitetu zvukova na mestu jednog i drugog uha [1], detektuje se uz pomoć ukrštenih nervnih puteva između oba uha. Samo dva pravca daju istu intenzitetnu razliku. To su pravci 0° i 180°. Govorimo o horizontalnoj ravni. Ovaj mehanizam detektuje podatak o razlici intenziteta, upoređivanjem anvelopa složenog signala u jednom i drugom uhu. Intenzitetna razlika bližeg i daljeg uha se naziva -

interauralna intezitetska razlika [2] (ILD – engl. Interaural Level Difference), koja je ilustrovana na ilustraciji 2. Na ilustraciji je prikazana razlika u intenzitetu zvuka koju oseće uši kada zvučni izvor nije postavljen na pravcu od  $0^\circ$  ili  $180^\circ$ . Zvuk mora da pređe veću razdaljinu, pa oslabi, a i oslabi zbog filterarskog efekta glave.

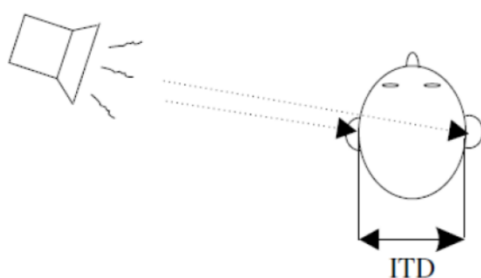


Ilustracija 2 – Intenzitetska razlika

Pokazalo se da glava ima filterarski efekat na stanje u zvučnom polju. I za kvantifikovanje tog efekta uvedena je veličina koja se naziva – funkcija prenosa glave (HRTF – engl. Head Related Transfer Function). Ona pokazuje promene signala na levom i desnom uhu u odnosu na stanje u zvučnom polju kada slušalac nije prisutan.

Drugi metod je: određivanje pravca pomoću vremenske razlike. Vremenska razlika signala bližeg i daljeg uha naziva se - interauralno kašnjenje (ITD-engl. Interaural Time Difference). Sa Ilustracije 1. možemo da zaključimo da ukoliko azimut nije jednak nuli ( $\Phi \neq 0$ ), zvuk će ranije doći do bližeg uva. Takođe, da se zaključiti da je interauralno kašnjenje najveće za azimut  $90^\circ$  i autori kažu da je za prosečne dimenzije glave ono oko 0,6 ms. Ako je frekvencija takva da je trajanje periode veće od interaurnog kašnjenja, fazna razlika signala na levom i desnom uhu predstavlja informaciju na osnovu koje se određuje pravac nailaska zvučnog talasa. Upravo je to ilustrovano na ilustraciji 3.

Međutim, Pavlovićeva tvrdi da ako je trajanje periode manje od interaurnog kašnjenja [2], što znači na dovoljno visokim frekvencijama, onda se na osnovu ITD-a ne može odrediti pravac iz kog nailazi zvuk, jer različita kašnjenja mogu izazvati istu faznu razliku.



Ilustracija 3 - Vremenska razlika

Što se tiče određivanja udaljenosti izvora, naučnici tvrde da se udaljenost izvora najprirodnije procenjuje pomoću subjektivnog nivoa izvora. Kao i to da mogućnost za procenu velikih udaljenosti pruža promena boje tona, zbog slabljenja komponenata viših učestalosti [1] u spektru složenog zvuka. Blizinu izvora, takođe, osećamo promenom boje tona, ali je tu proces suprotan, te je zvuk pun niskih frekvencija. Bekeši tvrdi da se kratkotrajni tonovi u blizini izvora pojavljuju sa velikom amplitudom

brzine čestica. U literaturi, ova pojava se često naziva efekat blizine.

Kada je u pitanju osećaj dimenzija izvora, mora se reći da je to najneispitanija oblast binauralne lokalizacije i da sem Bekešijevog istraživanja u ovoj oblasti 1949. godine, drugih značanih pokušaja nije ni bilo. On je istraživao na sledeći način: frontalno je postavio dva izvora zvuka na rastojanju od 70 cm, i udaljavajući se od njih proveravao osećaj rastojanja između izvora.

Iz neposredne blizine se razmak vrlo dobro ocenjivao. Udaljavajući se od izvora, razmak je postajao sve veći, pa se na 7 m udaljenosti činio čak 180 cm, umesto realnih 70 cm. Na 10 m odstojanja mu se činilo da radi samo jedan izvor i to u jednoj tački. Pokazao je i efekat da nam se izvori koji se nalaze iznad ili ispod horizontalne ravni posmatranja čine većih dimenzija nego kada se nalaze u toj ravni. Nešto slično se može iskusiti u operskoj sali. Orkestar se iz partera čini manjih dimenzija, nego ako se sluša sa balkona, iako smo dalje od orkestra.

### 3. ELEKTROAKUSTIČKA REPRODUKCIJA

Dva glavna pravca u kojima se razvija prenos prostornih informacija u audio sistemima su:

- binauralni koncept i
- stereo koncept

Može se reći da je binauralni koncept namenjen samo jednom individualnom slušaocu, a stereo je namenjen auditorijumu i omogućava percepciju prostornih informacija [3] u nekom zadatom prostoru. Binauralni koncept se zasniva na stvaranju odgovarajućih zvučnih signala na levom i desnom uhu, što podrazumeva prenos dva signala koji se reprodukciju pomoću slušalica.

Stereo sistem reprodukcije podrazumeva primenu dva ili više prostorno raspoređenih zvučnika preko kojih se reprodukuju nezavisni signali. Ograničen broj zvučnika koji se postavljaju pri reprodukciji u izlaznom akustičkom okruženju jedini su realni zvučni izvori koje slušalac može u takvim okolnostima da registruje.

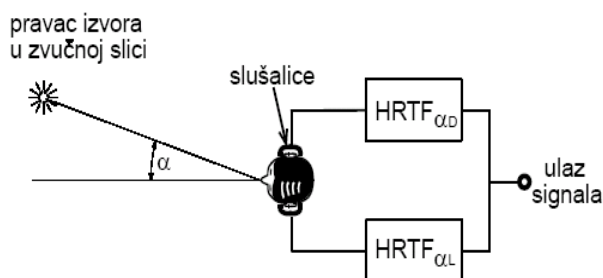
Prostorne dimezije zvučne slike u stereo sistemima, sa proizvoljnim pozicijama zvučnih izvora, formiraju se kao auditivne iluzije. One se zasnivaju na psihoakustičkim fenomenima u procesu slušanja kada zvuk istovremeno stiže iz više izvora raspoređenih u prostoru.

Binauralni koncept, s druge strane, je najdirektniji pokušaj prenosa prostornih informacija jer se zasniva na oponašanju fizičkih procesa koji se odigravaju na glavi slušaoca kada je on neposredno prisutan u ulaznom akustičkom okruženju i direktno prima zvučne informacije.

Osnovu metode čini filtriranje audio signala odgovarajućim prenosnim funkcijama za azimut  $\Phi$  kojim se želi definisati zadata pozicija izvora u zvučnoj slici [2]. Prenosne funkcije filtra za desno uvo  $HRTF\Phi D$  i levo uvo  $HRTF\Phi L$  predstavljaju funkcije fizičkih dimenzija glave i azimuta.

Njihov uticaj je za čulo sluha ključ kojim se dekoduju prostorne informacije. Za svaki željeni položaj izvora u zvučnoj slici koju prima slušalac potrebno je njegov signal prethodno filtrirati odgovarajućim prenosnim

funkcijama. Na ilustraciji 4 možemo upravo šemu binauralnog koncepta, gde se ulazni signal propušta kroz filtre koji predstavljaju funkcije fizičkih dimenzija glave i azimuta i time slušalac slušajući preko slušalica dobija željene prostorne informacije zvuka.



Ilustracija 4 - Šema na kojoj se zasniva binauralni koncept

Kada se tako filtrirani signali dovedu pomoću slušalica direktno u uši slušaoca, teoretski se nadoknađuje sve ono što bi slušalac inače imao, u fizičkom smislu, da se nalazi na licu mesta.

Ovakav princip se u praksi može realizovati na dva načina:

- 1) snimanjem pomoću uređaja koji se naziva veštačka glava ili
- 2) sintezom pomoću odgovarajuće predobrade pojedinih komponenti složenog audio signala.

### 3.1. Reprodukcija preko zvučnika

Rekli smo da binauralnim slušanjem tj. slušanjem na oba uha naš slušni aparat analizira zvučne pritiske sa raznih punktova u prostoru. To se može proveriti slušanjem monofonskog snimka koji nastaje tako što se u postupku snimanja signali sa jednog ili više mikfona dovode na jedan kanal i reprodukuju preko jednog zvučnika.

Jasno nam je da inteligentno slušanje o kojem smo govorili ne možemo primeniti ako su svi zvukovi koncentrisani u jednoj tački (zvučnik).

Metod reprodukcije zvuka preko velikog broja zvučnika se bazira na tome da se veliki broj mikrofona poređa na jednoj ravni ispred zvučnih izvora, a signali sa pojedinih mikrofona se pomoću jednog prenosnog sistema dovode do odgovarajućih zvučnika koji su poređani po jednoj ravni ispred slušališta.

Takav više-kanalni sistem je veoma složen i skup. Ekonomski razlozi nas teraju da prenosni kanali smanjuju na što je moguće razumniju meru [3]. Na filmu se pokušalo raditi sa 5 ili 3 kanala. Najprihvatljiviji sistem, sa akustičke i ekonomske tačke gledišta, ipak je ostao sa dva kanala, tzv. stereofonija.

Ako postavimo par zvučnika baš tako i preko oba istovremeno reprodukujemo jednake nivoe zvučnih pritisaka, slušalac neće čuti odvojene signale iz odgovarajućih pravaca, već će registrovati jedan fiktivni izvor i to u sredini rastojanja između dva zvučnika [1]. To rastojanje se inače naziva stereo baza ili širina stereo baze.

Menjamo li nivoe signala ili vreme njihovog međusobnog kašnjenja, fiktivni izvor se kreće između dva zvučnika. Ovaj efekat je osnova za stvaranje stereofonske reprodukcije preko zvučnika, pri kojoj slušalac ima iluziju prostornog slušanja.

### 3.2. Reprodukcija preko slušalica

Prava zamena zvučničkoj kontroli jeste reprodukcija preko slušalica. Jedan od razloga jeste smanjenje troškova, slušalicama postizemo reprodukciju koja nema značajnih izobličenja, a u ušima se istovremeno postiže ista maksimalna vrednost zvučnog pritiska kao i kod zvučnika.

Posebna prednost reprodukcije preko slušalica jeste ta što ne postoji uticaj akustike prostorije za slušanje i što okolna buka koja nije dovoljno izolovana praktično nema mogućnost da ometa reprodukciju. Prenosjenje originalne glasnosti i dinamike je isto prilično zadovoljavajuće.

Istraživanja su pokazala da je bolje koristiti reprodukciju preko slušalica nego preko loših zvučnika jer se na slušalicama lakše otkrije postojanje ometajućih šumova, nego sa nekvalitetnim zvučnicima, koji i sami unose smetnju.

Pri jednako glasnoj reprodukciji, odnos signal šum je preko slušalica 10 dB veći.

Nedostatak reprodukcije preko slušalica je lokalizacija virtualnih izvora „na glavi ili u glavi“. Postoji i neprijatnost, tj. zamaranje slušaoca neprekidnim držanjem slušalica na ušima.

Osnovna razlika reprodukciji preko zvučnika, jeste pojedinačno delovanje svakog uha kao samostalnog elektroakustičkog pretvarača, uz veoma mali uticaj drugog uha.

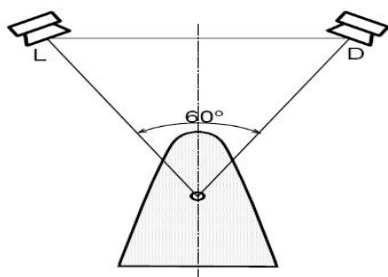
Ako stereofonski signal slušamo preko slušalica, lokalizacija virtualnog izvora je u glavi, i to na izmišljenoj liniji koja spaja oba uha. Ovu vrstu lokalizacije pravca nazivamo lateralizacijom. Pravac se određuje kao i kod reprodukcije preko zvučnika, pomoću intezitetne i vremenske razlike.

### 3.3 Zona stereofonskog slušanja

Površina kojom možemo lokalizovati virtualni izvor sa podnošljivom greškom naziva se zonom ispravne stereofonske lokalizacije. Svako pomeranje slušaoca iza ose, ka jednom od zvučnika, prouzrokuje i pomeranje fiktivnog izvora ka bližem zvučniku.

Postoji i nešto što se zove zona stereofonskog slušanja i ona definiše površinu sa koje slušalac još uvek ima utisak stereofonske reprodukcije [4], ali sa приметно netačnom lokalizacijom virtualnih izvora. Na ilustraciji 5 je ilustrovana zona stereofonskog slušanja i idealna pozicija slušaoca prilikom stereofonske reprodukcije zvuka.





Ilustracija 5 - Zona stereofonskog slušanja

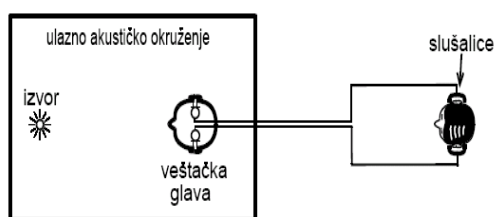
### 3.4. Reprodukcijski načinjenog primenom veštačke glave

Stereofonija veštačke glave možda i najvernije prenosi originalni doživljaj zvuka koji bi imao slušalac na mestu prirodnog prijema. U stanju je da prenese relativno tačno sve pravce, a iznad svih metoda, u stanju je da izuzetno reprodukuje osećaj udaljenosti izvora [1].

Za razliku od ostalih stereofonija, slušalac ima utisak da se nalazi u centru događanja. Nerešenu teškoću, međutim, i dalje čine glasovi koji dolaze frontalno, a u reprodukciji se često osećaju iznad ili iza glave.

Stereofonski snimak načinjen primenom veštačke glave, principijelno, ima smisla reprodukovati samo preko slušalica, pošto se specifične prednosti ove tehnike mogu predstaviti samo na ovaj način [4].

Na ilustraciji 6 je prikazana šema binauralnog snimanja pomoću veštačke glave. Veštačka glava se postavi u određeni prostor i mikrofoni koji se nalaze u ušnim kanalima glave snimaju signal zvučnog izvora sa svim prostornim karakteristikama, kao i sa karakteristikama koje unosi glava, ili eventualni torzo.



Ilustracija 6 - Šema binauralnog snimanja pomoću veštačke glave

## 4. ZAKLJUČAK

Ideja o binauralnom snimanju i reprodukciji zvuka nije nova, stara je gotovo sto godina. Međutim, tek danas, kada realnost postaje virtualna, binauralna tehnologija dobija više na značaju. Gejming, filmska i muzička industrija sve više pribegavaju binauralnom konceptu. Jedan od razloga jeste što su sadržaji sve više namenjeni individualnom slušaocu tj. ljudi sadržaj češće konzumiraju samostalno.

Bioskope su počele da menjaju striming platforme kao što su Netflix, Hulu, HBO OD. Gejming se iz igraonica i igre u LAN-u, premestio na personalne računare i samostalno igranje preko interneta. Koncerti su zbog situacije sa pandemijom počeli da se izvode online.

Ono što je novi milenijum doneo u pogledu binauralne tehnologije jeste podela mišljenja da li bi ta tehnologija trebalo da bude standardizovana ili individualizovana. Industrija želi standardizaciju dok samostalni istraživači navijaju za više individualan pristup. Standardizacija bi pomogla poređenju podataka i kasnijoj kalibraciji, a individualni pristup bi se verovatno bavio pojedinačnim problemima binauralne tehnologije.

Novi milenijum oživeo je i ideju binauralnih hedseta, tj. kombinaciju slušalica i mikrofona. Uređaji koji postoje u ponudi su BHM III [5] od HEAD-acoustics i B & K 41011. Kompanija Hooke takođe nudi hedset kojim može da se snima i odmah nakog toga reprodukuje na istim slušalicama.

## 5. LITERATURA

- [1] I. F. S. T. Arpad Osnović, Akustika i tonsko snimanje, Novi Sad: JRT, 1990.
- [2] D. Pavlović, Praktikum iz Elektroakustike, 2013.
- [3] L. Gordić, Stereofonija - teorija i praksa, 2016.
- [4] Višer, "Audio monitoring - sistemi za reprodukciju," Beograd, 2020.
- [5] P. S., "Binaural Recording technology: A historical review and possible future developments," *Acta Acoustica*, 2009.

### Kratka biografija:



**Milan Marković** rođen je u Vrbasu 1994. godine. Osnovne akademske studije, na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetika, elektronika i telekomunikacije, je završio 2018. godine.

kontakt: markovic.milan99@gmail.com

**SISTEM ZA OBRADU INFORMACIJA O KRETANJU OSOBA UNUTAR PROSTORIJA****SYSTEM FOR ANALYZING MOVEMENTS OF PERSONS WITHIN ROOMS**

Stefan Mičić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljen je sistem za obradu i analizu podataka o kretanjima osoba unutar prostorija. Naglasak je na distribuiranoj i skalabilnoj arhitekturi koja omogućava izvršavanje tih obrada i analiza. U okviru sistema su implementirane obrade koje se tiču broja ljudi u sobi, iskorišćenosti prostora, iskorišćenosti vremenskih perioda i pronalazak najčešćeg šablona kretanja. Pored modula za obradu podataka, u okviru predstavljenog sistema implementiran je i modul za vizuelizaciju podataka dobijenih na osnovu implementiranih obrada. Prilikom implementacije korišćene su tehnologije: Apache Spark, Kafka, HDFS, Flask i VueJS.

**Ključne reči:** Kafka, HDFS, Spark, Veliki skupovi podataka

**Abstract** – In this paper, we present the system for processing and analyzing data about person movement within rooms. The main focus is on a distributed and scalable architecture which enables development of these processing and analysis. There are several data processing algorithms which were implemented regarding number of people inside rooms, space utilization, percentage utilization, calculation of predefined periods of time and finding the most common movement pattern. Apart from data processing, visualization module is also implemented. For implementation Apache Spark, Kafka, HDFS, Flask and VueJS were used.

**Keywords:** Kafka, HDFS, Spark, Big Data

**1. UVOD**

Veliki skup podataka je skup podataka koji sadrži raznovrsne podatke, čija količina se neprestano uvećava i koji se prikupljaju velikom brzinom. U savremenom računarstvu, obrada velike količine podataka predstavlja izazov. Svakog dana nastaju novi skupovi podataka koji mogu biti preuzeti iz različitih izvora kao što su društvene mreže, video platforme i platforme za razmenu poruka. Prilikom obrade ovih skupova podataka, treba obezbediti algoritme koji će služiti za obradu novonastalih podataka i smestiti podatke u skladište.

Za obradu velikih skupova podataka, najčešće nije dovoljno imati samo jedan računar koji će da obavi svu potrebnu obradu i smesti sve podatke u svoju memoriju. Stoga se koristi distribuirana obrada i skladištenje podataka što podrazumeva potrebu za umreženom hardverskom infrastrukturom, odnosno postojanje klastera računara. Klaster računara predstavlja skup računara koji rade zajedno i čine jedan celoviti sistem.

U trenutku pisanja ovog rada, u 2021. godini, prisutna je pandemija virusa Kovid-19. U cilju prevencije daljeg širenja zaraze, nadležni organi apeluju da se u zatvorenim prostorijama okuplja ograničen broj ljudi uz poštovanje unapred definisanih mera zaštite i distanciranja. Naravno, kontrola ljudi koji se ne pridržavaju propisanih mera iziskuje dodatne troškove koje većina preduzeća ne može da priušti. Rešenje ovog problema može ležati baš u obradi velikih skupova podataka i automatizaciji procesa nadgledanja. Na primer, ukoliko se uzme u obzir tržišni centar koji ima stotinu poslovnih prostora za prodaju hrane, obuće, odeće i drugih artikala, može se smatrati da taj tržišni centar ima stotinu interesnih zona sa svojim izvorima podataka.

Jedan od izvora podataka mogu biti sigurnosne kamere, koje većina preduzeća već ima postavljene. Kamere se nalaze u svakom od tih poslovnih prostora i mogu se iskoristiti za davanje informacija o tome gde se koja osoba nalazi u određenoj prostoriji. Da bi se automatizovalo praćenje broja ljudi u prostorijama, potrebno je realizovati sistem koji će vršiti obradu podataka dobijenih od izvora kao što su sigurnosne kamere.

Realizacijom ovakvog sistema prestaje potreba za osobom koja će morati u svakom trenutku da vodi evidenciju koliko je osoba u prostoriji. Deljenjem prostorije na određene regione moguće je dobiti uvid u procenat ljudi koji je posetio datu regiju. S obzirom na to da je dostupna informacija o tačnoj poziciji osobe unutar prostorije, moguće je realizovati algoritam koji će pronalaziti najčešće šablone kretanja osobe kroz prostorije, što može pomoći vlasnicima objekata da bolje razumeju potrebe i kretanje kupaca.

Kako se uz svaku osobu sa kamere dobija i njen identifikacioni broj, moguće je izračunati i koliko osoba u proseku ostane u sobi. Ove, kao i mnoge druge obrade podataka, bile bi omogućene realizovanjem sistema za skladištenje i obradu velike količine podataka o kretanju osoba u prostorijama.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bio dr Vladimir Dimitrieski, docent.

## 2. PREGLED TRENUTNOG STANJA U OBLASTI

U radu [1] opisan je sistem implementiran radi praćenja osoba unutar prostorija. U tu svrhu se koriste vektori dobijeni iz okvira izvučenih iz video snimka. Najpre se postave početne tačke na mestima odakle želimo da pratimo objekat. Kada se desi promena u regionu gde je tačka, odnosno kada objekat prođe kroz region, ona se pomera zajedno sa objektom. Ovim postupkom je dobijen vektor kretanja za svaku osobu koja je prošla kroz sobu. Prednost našeg sistema je u tome što nije potrebno da postoje prethodno definisane početne tačke za praćenje objekta, već se koriste detekcije u vidu četvorouglova u kojima se nalaze osobe dobijene od postojećeg modela za detekciju ljudi dobijenog mašinskim učenjem.

U radu [2] korišćena su dva tipa kamera koje omogućavaju identifikaciju osobe i određivanje pozicije osobe u sobi. Zadaci su bili pobuđivanje ovog sistema ako osoba dođe u određeni region, razumevanje potrebe osoba uz pomoć njihovih pravaca kretanja u cilju asistencije i slično. Osnovni nedostatak opisanog sistema je u tome što on nije skalabilan. Kada bi postojala potreba da se sistem upotrebi da paralelno radi u mnogo prostorija, bilo bi teško unaprediti ga za tu svrhu. Taj nedostatak ne postoji u našem sistemu jer je od početka planiran tako da jednostavno podrži rad sa mnoštvom prostorija kao i dodavanje novih izvora podataka.

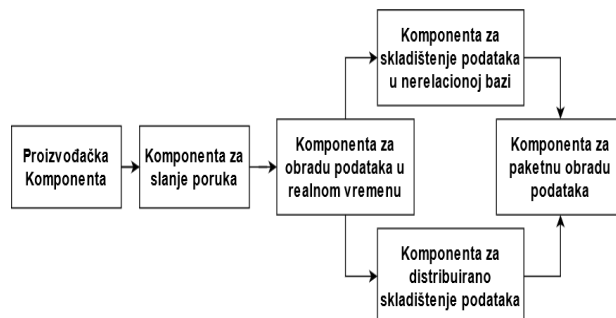
Ono što karakteriše radove [1] i [2] jeste činjenica da nisu zasnovani na upotrebi distribuiranih sistema za obradu podataka prilikom obrade informacija o poziciji osoba unutar prostorija. Sistem opisan u ovom radu donosi poboljšanje u odnosu na prethodno spomenuta rešenja jer predstavlja rešenje koje je nezavisno od načina implementacije sistema kao i od prostorija u kojima se osobe posmatraju. Korišćenjem informacija dobijenih od prethodno obučanih modela za detekciju ljudi, ovaj sistem može da prati ljude kroz koji god oni region u sobi prolazili. Prostorije u kojima se osobe prate mogu imati različite oblike i jedina informacija koja je potrebna jeste zatvorena kontura koja opisuje oblik sobe.

## 3. ARHITEKTURA SISTEMA

U ovom poglavlju biće opisana arhitektura sistema i dato detaljno objašnjenje svih njenih komponenti, kao i veza između njih.

Za potrebe ovog rada posmatramo prostorije kroz koje se svakodnevno kreću osobe i u svakoj od tih prostorija po jednu kameru koja šalje podatke na naš sistem. Prva komponenta koju ovaj sistem treba da ima je **proizvođačka komponenta** koja simulira slanje podataka sa kamera iz više prostorija. Sledeća komponenta je **komponenta za razmenu poruka**. Te poruke treba transformisati i sačuvati u obliku takvom da je kasnije moguće vršiti obrade nad njima te se javlja potreba za **komponentom za obradu podataka u realnom vremenu**. Zatim je potrebno smestiti novonastale podatke u distribuirani sistem datoteka koji može da primi velike količine podataka koje pristižu u realnom vremenu. Za to je potrebna **komponenta za distribuirano skladištenje podataka**. Nakon što su podaci prikupljeni, potrebno je obraditi podatke koji su dospeli u određenom vremenskom periodu i za taj deo sistema je neophodna

komponenta za paketnu obradu podataka. Nakon završetka paketne obrade podataka potrebno je smestiti rezultate obrade u bazu podataka kojoj će klijentska aplikacija moći lako da pristupi u cilju vizuelizacije. Komponenta u kojoj se čuvaju podaci se naziva **komponenta za skladištenje podataka u nerelacionoj bazi podataka**. Nakon definisanja komponenti za obradu i skladištenje javlja se potreba za klijentskom aplikacijom koja se može realizovati kroz dve dodatne komponente sistema: komponenta sa aplikativnim serverom (engl. *Backend*) kao i vizuelizaciona komponenta (engl. *Frontend*). Na slici 1. prikazana je arhitektura dela projektovanog sistema koji se bavi distribuiranom obradom i smeštanjem podataka.



Slika 1: Arhitektura dela projektovanog sistema koji se bavi obradom velike količine podataka

Korišćeni podaci bili su u CSV (engl. *Comma-Separated Values*) formatu te je napravljena Pajton skripta, na slici prikazana kao proizvođačka komponenta, koja je čitala podatke i periodično ih slala sistemu za razmenu poruka. U zavisnosti od vremenske odrednice podatka, proizvođačka komponenta šalje redove iz pročitanih fajla komponenti za slanje poruka. Strelice između komponenti predstavljaju smer toka podataka unutar sistema. Na primer, vidi se da od proizvođača podaci idu ka komponenti za razmenu poruka.

Platforma *Kafka* [3] je korišćena za realizaciju komponente za slanje poruka. *Kafka* je trenutno među najpopularnijim platformama za razmenu poruka koje se koriste u objavi-pretplati režimu. Ovakav način komunikacije se sastoji od proizvođača, potrošača i teme na koju se potrošači pretplaćuju. U ovom sistemu proizvođače predstavljaju kamere u prostorijama koje šalju poruke sa pozicijama osoba unutar njih. Poruke se dostavljaju potrošaču koji je komponenta za obradu u realnom vremenu, koja će biti objašnjena u narednom pasusu. Kako bi poruka došla od proizvođača do potrošača, potrebna je tema na koju će se potrošač pretplatiti. Za implementaciju sistema je korišćena jedna tema i pomoću nje se vršio prenos svih poruka.

Sledeća komponenta u sistemu je komponenta za obradu podataka u realnom vremenu. Za realizaciju je korišćen *Spark Streaming* [4]. Ova komponenta konzumira podatke koji se nalaze u sistemu za razmenu poruka i ima dva cilja.

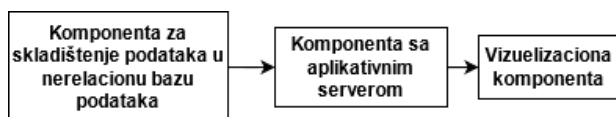
Za implementaciju komponente za distribuirano skladištenje podataka korišćen je HDFS (engl. *Hadoop Distributed File System*) [5]. Kako podaci stižu neprestano iz svake prostorije, jasno je da su količine podataka velike i postoji velika verovatnoća da ih nije

moгуće smestiti na jedan računar. Zbog toga se koristi ova komponenta jer sluţi kao skladište obrađених podataka u realnom vremenu. Ti podaci predstavljaju ulaz u komponentu koja će vršiti paketnu obradu i praviti obrade čiji će rezultati biti prikazani krajnjim korisnicima.

Najveća i najbitnija komponenta u sistemu je komponenta za paketnu obradu podataka. Ona predstavlja centralni deo sistema i sluţi za obradu svih uskladištenih podataka. Za potrebu realizacije se koristio *Spark* kao radni okvir za distribuiranu obradu podataka. Uz pomoć *Spark*-a, rezultati obrade ove komponente za paketnu obradu podataka se smeštaju u komponentu za skladištenje podataka u nerelacionoj bazi.

*MongoDB* [6] predstavlja sistem za upravljanje bazom podataka koji je korišćen prilikom realizacije komponente za skladištenje podataka u nerelacionoj bazi podataka. Duţnost komponente za obradu podataka u realnom vremenu je i da ukloni laţne detekcije, što znači da izbriše one osobe čije se lokacije ne nalaze unutar unapred definisanih regiona. Ti unapred definisani regioni se čuvaju pomoću komponente opisane u ovom paragrafu u vidu JSON (engl. *JavaScript Object Notation*) fajla.

Na slici 2. predstavljena je arhitektura aplikacije za prikaz podataka.



Slika 2: Arhitektura aplikacije za vizuelizaciju podataka

Za realizaciju komponente sa aplikativnim serverom korišćen je *Flask* [7]. Kako je ceo sistem za obradu i skladištenje pisan u Pajton programskom jeziku, izabran je *Flask* kao jedan od najpopularnijih radnih okvira za implementaciju veb aplikacija u tom programskom jeziku. Ova komponenta sluţi kako bi se rezultati obrada u realnom vremenu i paketnih obrada predstavili u formatu koji je pogodan za prikaz korisniku.

Vizuelizaciona komponenta koristi se za prikaz informacija korisniku kako u tabelarnom, tako i putem grafova, realizovana je pomoću *VueJS* [8] tehnologije. *VueJS* je odabran za razvijanje dela aplikacije za vizuelizaciju jer je jednostavan za korišćenje.

#### 4. FUNKCIONALNOSTI SISTEMA

U ovom poglavlju će biti opisane sve vrste obrade podataka koje se izvršavaju u realnom vremenu i prilikom paketne obrade. Takođe, biće objašnjen način na koji aplikacija preuzima te podatke i priprema ih za predstavljanje korisniku.

##### 4.1 Obrada u realnom vremenu

Obrada u realnom vremenu ima dva zadatka. Prvi je formatiranje i uklanjanje svih detekcija koje su laţne, dok je drugi prebrojavanje ljudi koji se nalaze u svakoj prostoriji.

Prilikom realizacije prvog zadatka potrebno je učitati sve regione za svaku prostoriju. Pre provere, dolazi do formatiranja podataka kako bi se lakše proverilo da li je osoba unutar regiona, poređenjem centra detekcija se regionom. Nakon što je odbacivanje laţnih detekcija

izvršeno, prelazi se na brojanje osoba koji se nalaze u prostorijama i rezultat se upisuje u bazu podataka. Izvršavanjem drugog zadatka, vlasnici objekata bi mogli da dobijaju upozorenje kada je u objektu više ljudi nego što je dozvoljeno.

##### 4.2. Paketna obrada

U okviru paketne obrade, realizovano je pet zadataka:

- brojanje ljudi koji se nalazio u nekoj prostoriji za određeni vremenski period,
- računanje procenta iskorišćenosti regiona u određenom vremenskom periodu za određenu prostoriju,
- računanje iskorišćenosti vremenskih intervala za određenu prostoriju,
- pronalazak najčešćeg šablona kretanja unutar određene prostorije i
- računanje prosečnog vreme zadržavanja osobe unutar prostorije u proteklih godinu dana.

Brojanje osoba u svakoj prostoriji u određenom vremenskom periodu pruţa informaciju o tome koja prostorija je u kom intervalu bila najaktivnija. Rezultati ove obrade mogu olakšati rad poslovnih objekata tako što bi vlasnici bili obavešteni kada je veliki kapacitet rada potreban, a kad ne.

Računanje procentualne iskorišćenosti prostora unutar određene prostorije predstavlja neki vid proširenja prethodnog zadatka. Nakon što krajnji korisnik sistema pogleda koja osoba je bila aktivna ili neaktivna daje joj se mogućnost da pogleda koliko je svaki od regiona, unutar te prostorije, korišćen u tom vremenskom intervalu. Ako zamislimo prodavnicu koja se bavi prodajom odevnih predmeta, moguće je objekat podeliti na regione koji odgovaraju majicama, jaknama i farmericama, na primer. Korišćenjem ove obrade, dobija se podatak koji deo prostorije je bio najposećeniji u određenom vremenskom intervalu. Takođe, korisnici aplikacije znaće koju prostoriju je potrebno ponovo dezinfikovati jer je veliki broj ljudi boravio u njoj. Na taj način se sprečava potencijalno širenje virusa Kovid-19.

Sledeća obrada je pronalazak uobičajenog šablona kretanja osobe unutar prostorije. Cilj ove obrade je da utvrdi koje prostorije kupci najčešće koriste i time možda pokušaju da ih promenom rasporeda stvari u objektu podstaknu da prođu i kroz ostale delove.

Poslednja obrada koja se vrši jeste određivanje prosečnog vremena zadržavanja osobe u prostoriji. Ona pruţa informaciju u kojim prostorijama kupci ne borave dugo, te radnici ne moraju te prostorije da dezinfikuju često jer je kapacitet ljudi manji.

##### 4.3. Aplikacija za prikaz rezultata obrada podataka korisniku

Poslednji deo sistema je aplikacija koja korisniku prikazuje sve prethodno navedene rezultate obrada u formatu koji su razumljivi krajnjem korisniku. Serverski deo aplikacije sluţi da sve prethodno izračunate obrade preuzme i formatira ih tako da vizuelizaciona komponenta može prikazati korisniku te podatke.



## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je sistem za obradu podataka o kretanjima ljudi unutar prostorija kao i njegova implementacija. Dat je pregled funkcionalnosti koje su implementirane kao i njihova svrha.

Osnovna prednost korišćenja ovakvog sistema jeste smanjivanje potreba za postojanjem više ljudi koji bi vršili kontrolu posećenosti određenih objekata. Ovaj sistem daje uvid u parametre posećenosti što može olakšati donošenje odluka vlasnicima, a kupcima pruža potrebne informacije vršeći izračunavanje:

- procenta posećenosti unapred definisanih regiona unutar prostorija,
- broja osoba koje su prošle kroz prostoriju u određenom vremenskom intervalu,
- najčešćeg šablona kretanja neke osobe i
- prosečnog vremena zadržavanja osobe u prostoriji.

Sistem je projektovan tako da ga je moguće lako adaptirati i primeniti na objekte sa većim brojem prostorija.

Dalja unapređenja sistema odnose se na usavršavanje algoritama za realizaciju pojedinih tipova obrade podataka. Moguće je dodatno usavršiti algoritam za pronalaženje najčešćeg šablona kretanja upotrebom grafova, umesto samog traženja najučestalijeg niza regiona. Sledeća stvar koju je moguće unaprediti tiče se aplikacije za vizuelizaciju rezultata obrada podataka i uključuje implementiranje vizuelizacije u realnom vremenu umesto da se podaci periodično osvežavaju.

## 6. LITERATURA

- [1] Denman, S., Chandran, V., & Sridharan, S. (2007). An adaptive optical flow technique for person tracking systems. *Pattern recognition letters*, 28(10), 1232-1239.
- [2] Krumm, J., Harris, S., Meyers, B., Brumitt, B., Hale, M., & Shafer, S. (2000, July). Multi-camera multi-person tracking for easy living. In *Proceedings Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance* (pp. 3-10). IEEE.

- [3] Garg, N. (2013). *Apache kafka*. Packt Publishing Ltd.

- [4] Chambers, B., & Zaharia, M. (2018). *Spark: The definitive guide: Big data processing made simple*. "O'Reilly Media, Inc."

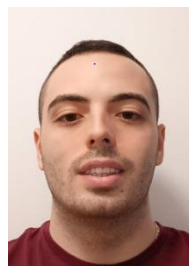
- [5] Shvachko, K., Kuang, H., Radia, S., & Chansler, R. (2010, May). The hadoop distributed file system. In *2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies (MSST)* (pp. 1-10). Ieee.

- [6] Chodorow, K. (2013). *MongoDB: the definitive guide: powerful and scalable data storage*. "O'Reilly Media, Inc."

- [7] Vogel, P., Klooster, T., Andrikopoulos, V., & Lungu, M. (2017, September). A low-effort analytics platform for visualizing evolving Flask-based Python web services. In *2017 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISOFT)* (pp. 109-113). IEEE.

- [8] Nelson, B. (2018). *Getting to Know Vue.js*. Berkeley, CA: Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3781-6>.

### Kratka biografija:



**Stefan Mičić** rođen je 8. juna 1997. godine u Zvorniku, Republika Srpska. Fakultet tehničkih nauka upisao je 2016. na studijskom programu Računarstvo i Automatika. Bečelorski rad na usmerenju Inteligentni Sistemi odbranio je 2020. godine. Master rad na usmerenju Inteligentni Sistemi odbranio je 2021. godine.

## ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI SEMANTIČKE SEGMENTACIJE SLIKA SA IOT UREĐAJA

### RESEARCH OF SEMANTIC SEGMENTATION CAPABILITIES ON IMAGES FROM IOT DEVICES

Miloš Živković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – ELEKTROTEHNIČKO I RAČUNARSKO INŽENJERSTVO

**Kratak sadržaj** – Analizirane su mogućnosti semantičke segmentacije slike dobijenih korišćenjem konstruisanog IoT sistema za akviziciju slike, zasnovanog na ESP32-Cam modulu. Implementirane su ERFNet i Unet arhitekture konvolucionih neuronskih mreža. Modeli za segmentaciju obučavani su na Cityscapes i Camvid bazama slika i poređene su njihove performanse. Za testiranje korišćene su slike sa IoT uređaja, DSLR fotoaparata i test slike iz skupova slika korišćenih za obuku modela.

**Ključne reči:** Semantička segmentacija, ERFNet, Unet, IoT uređaji, ESP-32 Cam

**Abstract** – Capabilities of semantic segmentation were analyzed on the images obtained using designed IoT system for image acquisition, based on ESP32-Cam module. ERFNet and Unet convolutional neural network architectures were implemented. Segmentation models were trained on Cityscapes and Camvid image datasets and their performances were compared. For testing were used images from IoT device, DSLR camera, and test images from image datasets utilized for model training.

**Keywords:** Semantic segmentation, ERFNet, Unet, IoT devices, ESP-32 Cam

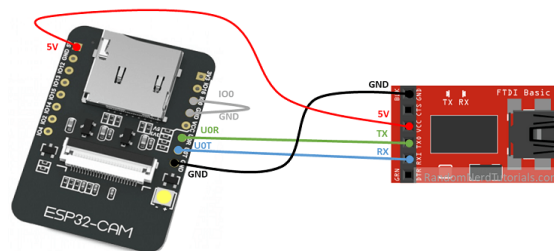
#### 1. UVOD

Klasičan problem kompjuterske vizije je semantička segmentacija čiji je zadatak određivanje klase svakog piksela u slici što vodi ka potpunom razumevanju slike. Najbolje rezultate danas pokazuju metode dubokog učenja, a među njima konvolucione neuronske mreže. Konvolucione neuronske mreže predstavljaju klasu veštačkih neuronskih mreža koje su dizajnirane da automatski i adaptivno nauče prostorne hijerarhije obeležja putem propagacije unazad koristeći nekoliko ključnih blokova kao što su konvolucioni slojevi, udruženi slojevi i potpuno povezani slojevi. Mreže se obučavaju korišćenjem označenih (labeliranih) baza slika. Cilj ovog rada je bilo istraživanje mogućnosti korišćenja IoT (eng. *Internet of Things*) sistema za akviziciju slike kao izvora podataka za primenu algoritama semantičke segmentacije slike. Implementirane su dve arhitekture

konv. neuronskih mreža i upoređene njihove performanse.

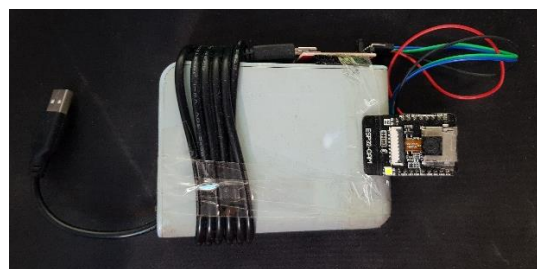
#### 2. ESP32-CAM SISTEM

ESP32-CAM je jeftina ploča za razvoj koja na sebi ima kameru i WiFi modul. Omogućava prenošenje video informacija putem IP adrese u različitim rezolucijama. Za programiranje modula potrebno je koristiti FTDI adapter kako bi se omogućila USB konekcija, slika 1. Programira se preko Arduino okruženja, a za potrebe ovog rada modul je isprogramiran tako da umesto slanja slike putem IP adrese, sliku snima na micro SD memorijsku karticu svaki put kad se pritisne odgovarajuće dugme.



Slika 1. Povezivanje ESP32-CAM modula i FTDI adaptera

Kako se modul napaja sa 5V ili 3.3V, nakon programiranja on se može pustiti u rad povezivanjem na računar, eksternu bateriju ili punjač za telefon. Izgled sistema je prikazan na slici 2.



Slika 2. Izgled ESP32-Cam sistema zajedno sa eksternom baterijom

Korišćenjem ovog sistema napravljena je baza slika koja je zajedno sa Cityscapes, Camvid i DSLR bazom slika korišćena za proveru performansi treniranih modela.

#### 3. MODELI

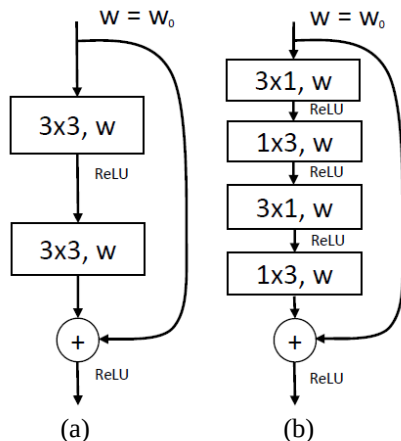
Za potrebe rada implementirani su ERFNet i Unet modeli koji su se pokazali kao najefikasniji za rešavanje sličnih problema.

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Branko Brkljač.

### 3.1 ERFNet

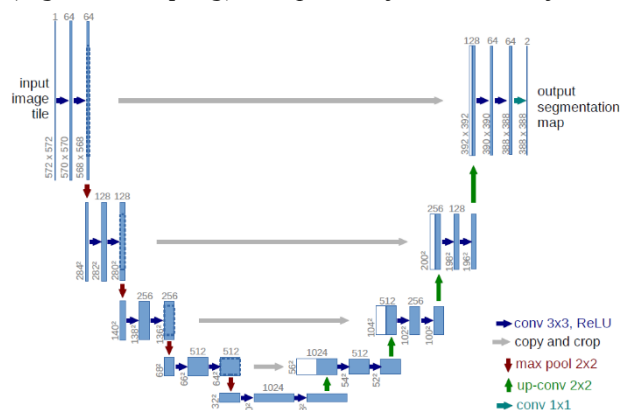
ERFNet [1] je kreiran sa ciljem otklanjanja ograničenja koja ima ResNet [2] arhitektura u svojim ključnim slojevima. Umesto direktnog povezivanja i preskakanja određenih slojeva, ERFNet predlaže redizajniranje sloja bez suženja (*eng. Non-bottleneck*) tako da se u potpunosti koriste konvolucije sa 1D filterima, slika 3.



Slika 3. Prikaz originalne strukture sloja bez suženja (a) i redizajnirane strukture (b). Preuzeto iz [1]

### 3.2 Unet

Arhitektura Unet [3] mreže sastoji se od leve sužavajuće i desne proširujuće strane. Sužavajuća strana prati standardnu arhitekturu konvolucionih mreža i sastoji se od dve 3x3 konvolucije sa ReLU aktivacionom funkcijom i 2x2 slojem maksimalnog udruživanja (*eng. max pooling*). Na svakom koraku smanjenja dimenzionalnosti (*eng. downsampling*) se duplira broj kanala obeležja.



Slika 4. Arhitektura Unet mreže. Svaki plavi pravougaonik predstavlja višekanalnu mapu obeležja. Broj kanala se nalazi iznad pravougaonika, dimenzije x-y se nalaze kod donjeg levog ugla pravougaonika, dok beli pravougaonici predstavljaju kopirane mape obeležja a strelice predstavljaju različite operacije. Preuzeto iz [3]

Svaki korak proširujuće strane se sastoji od povećanja dimenzionalnosti (*eng. upsampling*) mapa obeležja (*eng. feature maps*). Nakon čega sledi 2x2 konvolucija koja prepolovi broj kanala obeležja spajanjem sa odgovarajućim odsečenim delom mape obeležja sužavajuće strane mreže, dok se na kraju nalaze dve 3x3 konvolucije sa ReLU aktivacionim funkcijama. Isecanje mapa obeležja je neophodno zbog gubitka graničnih piksela u svakoj konvoluciji. U poslednjem sloju 1x1

konvolucija se koristi za mapiranje svake 64 komponente vektora obeležja u željeni broj klasa. Ukupno, mreža ima 23 konvolucionna sloja, slika 4.

## 4. BAZE SLIKA

U ovom radu korišćeno je više javno dostupnih baza slika radi treniranja i upoređivanja performansi različitih modela kao i baze slika dobijenih korišćenjem ESP32-Cam sistema i DSLR foto aparata.

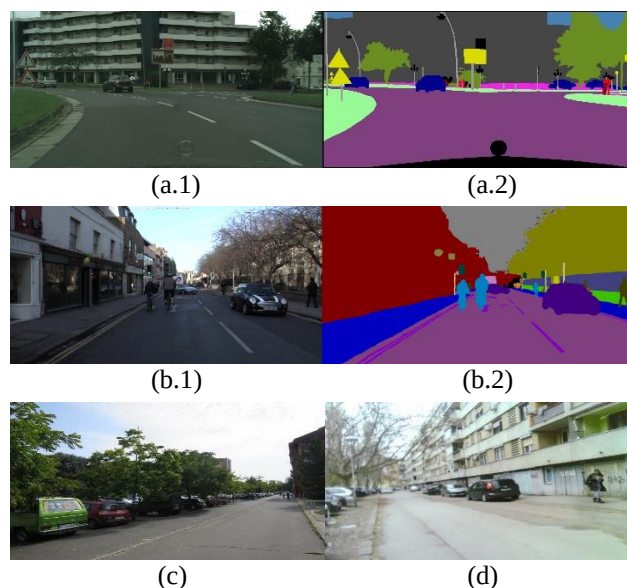
### 4.1 Cityscapes i CamVid

Cityscapes baza slika [4] predstavlja set slika izvučenih iz video sekvenci snimljenih na ulicama preko 50 različitih gradova. Deo baze korišćen u ovom radu se sastoji od 5000 slika, kao i oznake 35 klasa.

CamVid [5] baza slika takođe se sastoji od seta slika izvučenih iz video sekvence. Baza sadrži 701 par podataka u formi slika - oznaka klase kojoj pripada. Predstavljene su 32 različite klase.

### 4.2 ESP32-Cam i DSLR

Testiranje pristupa je izvršeno nad bazama napravljenim pomoću DSLR foto aparata i ESP32-Cam sistema. Ove baze ne sadrže oznake klasa i korišćene su radi provere performansi modela treniranih na Cityscapes i CamVid bazama. Primeri su dati na slici 5.



Slika 5. Primer slike i slike oznake klasa Cityscapes baze (a.1), (a.2), primer slike i slike oznake klasa CamVid baze (b.1), (b.2), primer slike DSLR baze (c), primer slike ESP32-Cam baze (d)

## 5. TRENING I EVALUACIJA MODELA

Biblioteka korišćena za treniranje i evaluaciju modela je preuzeta sa GitHub repozitorijuma *tf-semantic-segmentation* [6]. Biblioteka je napravljena specijalno za potrebe semantičke segmentacije i sastoji se od velikog broja alata. Unutar biblioteke postoje definisane arhitekture za najkorišćenije mreže za semantičku segmentaciju, moduli za preuzimanje velikog broja baza slika sa interneta, veliki broj funkcija cene, aktivacionih funkcija, metrika, normalizacionih metoda i metoda za



„augmentaciju“ (proširivanje) skupa podataka. Za potrebe ovog rada kao funkcija cene korišćena je kategorička međuentropija, a kao metrike su korišćeni F1 rezultat, IoU rezultat i prosečna tačnost po klasama.

F rezultat (*eng. F-score*) takođe se naziva F1 [7] rezultat i predstavlja meru tačnosti modela na datom skupu podataka. Definisan je kao harmonijska srednja vrednost preciznosti i odziva modela.

IoU (*eng. Intersection-Over-Union*) [8], takođe poznat kao *Jaccard* indeks, jedan je od najkorišćenijih u oblasti semantičke segmentacije jer je jednostavan a veoma efektivan. IoU rezultat predstavlja preklapanje rezultata modela sa označenom slikom podeljen unijom između rezultata modela i označene slike. IoU rezultat ima raspon vrednosti od 0 do 1 i njegova vrednost tokom obuke prikazana je na slici 7.

ERFNet i Unet modeli trenirani su posebno na *Cityscapes* i na *CamVid* bazama slika i u svim slučajevima podaci su distribuirani u odnosu 80%, 10% i 10% za trening, validaciju i test, respektivno. Kao funkcija cene je korišćena kategorička međuentropija (*eng. categorical crossentropy*), aktivaciona funkcija je bila softmax (*eng. softmax*), i korišćen je Adam optimajzer (*eng. Adam optimizer*).

Treniranje svakog od modela rađeno je od samog početka, odnosno bez korišćenja pretreniranog modela. Broj epoha za treniranje i vreme za koje svaki od modela generiše izlaz za ulaznu sliku su dati u tabeli 1.

| Model (trening skup) | Broj epoha | Vreme izvršavanja (s) |
|----------------------|------------|-----------------------|
| ERFNet (Cityscapes)  | 47         | 11,3                  |
| ERFNet (CamVid)      | 98         | 9,7                   |
| Unet (Cityscapes)    | 38         | 310,8                 |
| Unet (CamVid)        | 52         | 284,6                 |

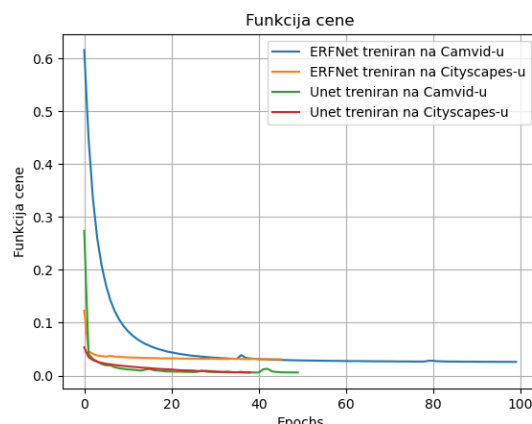
Tabela 1. Broj epoha za treniranje i vreme izvršavanja treniranog modela

Kategorička međuentropija je funkcija cene koja se koristi za višeklasne probleme, odnosno one probleme gde jedan uzorak (piksel) može pripadati samo jednoj od više mogućih kategorija (klasa) i model treba da odluči kojoj od njih pripada [6]. Vrednost funkcije cene je prikazana na slici 6.

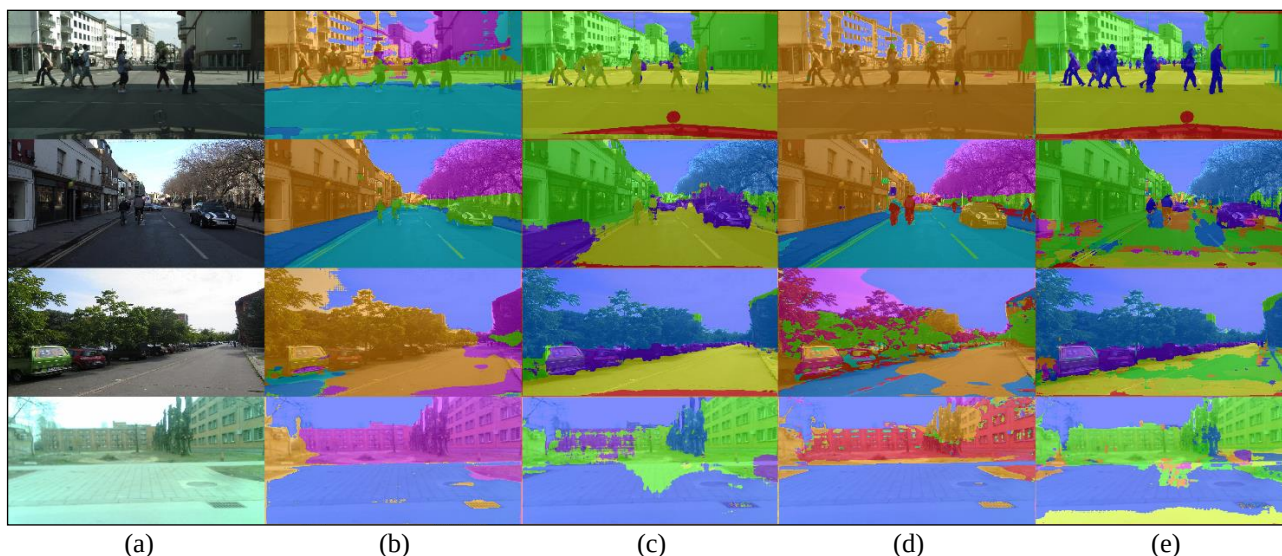
## 6. REZULTATI

Bolje performanse prilikom treniranja postignute su korišćenjem Unet arhitekture u slučaju obe baze slika. Najlošije se pokazala ERFNet arhitektura trenirana na *Cityscapes* bazi slika.

Sva četiri modela su trenirana različitim brojem epoha. Trening se zaustavio ukoliko se funkcija cene nije poboljšala, odnosno smanjila deset uzastopnih epoha. Najkraće je trenirana Unet arhitektura na *Cityscapes* bazi slika, a najduže ERFNet arhitektura na *CamVid* bazi slika. Prosečna tačnost po klasama na trening skupu je data na slici 8. Vizuelna poređenja rezultata modela semantičke segmentacije za ulazne slike su data na slici 9.

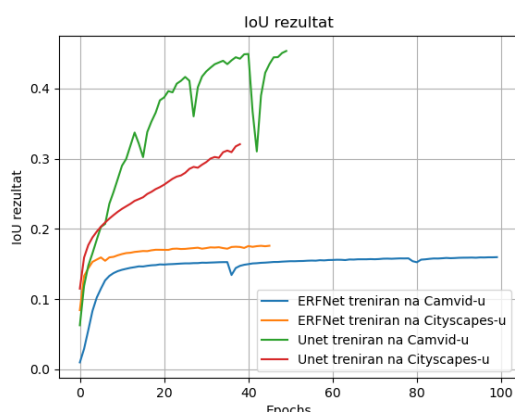


Slika 6. Vrednosti funkcije cene prilikom treniranja modela

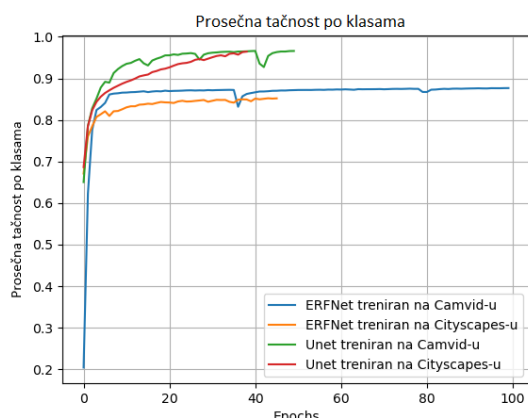


Slika 9. Redovi predstavljaju slike iz različitih baza: prvi red odgovara slici iz *Cityscapes* baze, drugi red slici iz *CamVid* baze, treći red slici iz *DSLR* baze i četvrti red slici iz *ESP32-Cam* baze, dok kolone 2-5 predstavljaju rezultate semantičke segmentacije za: ERFNet treniran na *CamVid* (b), ERFNet treniran na *Cityscapes* (c), Unet treniran na *CamVid* (d) i Unet treniran na *Cityscapes* (e). Prva kolona (a) odgovara ulaznim slikama.





Slika 7. Vrednosti IoU rezultata prilikom treninga modela



Slika 8. Vrednosti prosečne tačnosti po klasama prilikom treninga modela

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisani su i diskutovani načini za rešavanje problema semantičke segmentacije slike. U istraživanju su korišćeni skupovi podataka koji odgovaraju različitim senzorima slike uključujući i kamere namenjene korišćenju u kombinaciji sa IoT uređajima male potrošnje energije (*ESP32-CAM modul*). Predloženo IoT rešenje za akviziciju slike je implementirano korišćenjem odgovarajućeg hardvera i softvera koji su razvijeni kao deo istraživanja u okviru master rada. Radi demonstracije rada mobilne platforme za akviziciju slike koja ima malu potrošnju energije i kao takva je pogodna za primene na otvorenom prostoru, prikupljena je baza slika urbanog okruženja na različitim lokacijama u Novom Sadu. Na prikupljenoj bazi slika su merene performanse nekoliko modela za semantičku segmentaciju slike (*ERFNet*, *Unet*). Pomenuti modeli su obučavani (trenirani) na odgovarajućim skupovima podataka (*Camvid*, *Cityscapes*).

U okviru istraživanja i rada na tezi izvršena je kompletna obuka modela. Rezultati obuke različitih modela prikazani su u poglavlju 5, kao i vizuelni prikazi rezultata segmentacije na nasumično izabranim slikama iz više korišćenih baza uključujući i baze kreirane u okviru ovog rada (*DSLR* i *ESP32-CAM baze*). Uzimajući u obzir potencijalna ograničenja IoT uređaja, ERFNet je od početka odabran kao model manje računске složenosti koji bi mogao da pruži uporedive rezultate kao i neki složeniji modeli. Tokom obuke ERFNet je pokazao lošije vrednosti ciljne funkcije i ranije je ušao u zasićenje, slika 7. Slično i

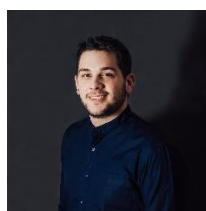
prilikom merenja performansi na test podskupu, imao je lošiji rezultat u odnosu na predstavnika složenijih modela kao što je *Unet*. Ovo može biti posledica manje složenosti modela, kao i prevelikog prilagođavanja podacima u trening skupu. Ovo je posebno uočljivo u slučaju veće baze slika kao što je *Cityscapes* (u oba razmatrana scenarija – kada je *ERFNet* obučavan na *Camvid*, a testiran na *Cityscapes* i obrnuto) dok na jednostavnijoj bazi slika kao što je *Camvid* (za koju je *ERFNet* originalno predložen i obučavan), vizuelni prikaz rezultata u drugom redu i drugoj koloni slike 9 demonstrira da ERFNet može da postigne dobre rezultate na *Camvid* skupu na kome je i treniran.

Opisano ponašanje bi trebalo dodatno istražiti kako bi se utvrdilo da li je manja mogućnost generalizacije (uopštavanja) rezultat: 1) manje kvalitetnog skupa za obuku (kao kada je *ERFNet* obučavan na *Camvid*, a testiran na *Cityscapes*), ili 2) nedovoljno prilagođenih hiper parametara tokom obuke modela sa drugim bazama slika (npr. kada je *ERFNet* obučavan na *Cityscapes*, a testiran na *Camvid*). Generalni zaključak jeste da modeli obučeni na određenom skupu slika na istom takode pokazuju bolje rezultate, što je i očekivano.

## 8. LITERATURA

- [1] Romera, E., Alvarez, J.M., Bergasa, L.M., Arroyo, R. (2017). ErfNet: Efficient residual factorized convnet for real-time semantic segmentation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- [2] He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2015). Deep residual learning for image recognition. *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- [3] Ronneberger, O. (2015). U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Int. Conf. on Medical image computing and computer-assisted intervention*.
- [4] Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., Benenson, R., Franke, U., Roth, S., Schiele, B. (2016). The Cityscapes dataset for semantic urban scene understanding, *CVPR*.
- [5] Fauqueur, J., Brostow, G., Cipolla, R. (2007). Assisted video object labeling by joint tracking of regions and keypoints, *IEEE International Conference on Computer Vision*, Rio de Janeiro, Brazil.
- [6] <https://github.com/audcode/tf-semantic-segmentation>
- [7] Lipton, Z. C., Elkan, C., Narayanaswamy, B. (2014). Optimal thresholding of classifiers to maximize F1 measure, *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*.
- [8] Rezatofighi, H., Tsoi, N., Gwak, J., Sadeghian, A., Reid, I., Savarese, S. (2019). Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression, *CVPR*.

### Kratka biografija:



**Miloš Živković** rođen je u Valjevu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetika, elektronika i telekomunikacije – Obrada signala, odbranio je 2021.god. Osnovne akademske studije završio je 2019. godine na studijskom programu Biomedicinsko inženjerstvo. kontakt: pho.milos@gmail.com

**UTICAJ KONSTRUKCIJE NA PERFORMANSE SINHRONIH MAŠINA SA STALNIM MAGNETIMA****INFLUENCE OF CONSTRUCTION ON PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINES PERFORMANCES**

Milica Marković, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu je napravljen pregled najzastupljenijih tipova konstrukcija sinhronih mašina sa stalnim magnetima (SMSM). Na primeru sinhronog motora sa utisnutim stalnim magnetima, uz primenu metode konačnih elemenata (FEA), izvršen je proračun karakterističnih veličina režima praznog hoda, kao što su talasni oblici indukovanih elektromotornih sila i talasnost parazitivnog momenta (cogging torque). Ustanovljen je uticaj koji širina otvora statorskog žleba ima na razmatrane veličine.

**Ključne reči:** SMSM, FEA, prazan hod, elektromotorna sila, parazitivni momenat.

**Abstract** – The paper presents an overview of the most common types of structures of synchronous machines with permanent magnets (PMSM). On the example of a synchronous motor with interior permanent magnets, using the finite element method (FEA), the characteristic variables of the no-load operation such as the waveforms of induced electromotive forces and the cogging torque were calculated. The influence that the width of the stator slot opening has on the considered variables has been analyzed and discussed.

**Keywords:** PMSM, FEA, no-load operation, electromotive force, cogging torque.

**1. UVOD**

Sinhrona mašine su rotacione električne mašine koje karakteriše obrtno magnetno polje u vazдушnom zazoru, čija sinhrona brzina obrtanja zavisi od frekvencije struja statorskih namotaja. Pojam sinhrona proizilazi iz činjenice da je mehanička brzina obrtanja rotora jednaka brzini obrtnog polja.

Kako bi se ostvarila elektromehanička konverzija uz sinhronu brzinu obrtanja rotora, potrebno je obezbediti da rotorsko magnetno kolo ima sopstveni izvor pobuđivanja. Pobuđivanje se može realizovati pomoću zasebnog pobudnog namotaja kroz koji se uspostavlja jednosmerna struja, ili postavljanjem stalnih magneta na rotoru. Tema ovog rada je analiza performansi sinhronih mašina sa stalnim magnetima kao izvorom pobude, tako da će na dalje biti reči samo o ovoj vrsti mašina.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

Sinhrona mašine sa stalnim magnetima imaju visoku efikasnost, visoku stabilnost obrtnog momenta, malu inerciju i jednostavno upravljanje. Ovaj tip mašina najčešće služi za pogone koji rade u širokom opsegu brzina. Brzine se kreću u opsegu od nekoliko stotina, pa čak i do preko deset hiljada obrtaja u minuti. Neke od najčešćih primena SMSM su: robotski aktuatori, alatne mašine, kućni aparati i električna vozila.

U radu je izvršen pregled najzastupljenijih tipova konstrukcije SMSM, a zatim i analiza uticaja varijacije u konstrukciji na njihove performanse. Naročit naglasak je stavljen na uticaj na talasnost parazitivnog momenta, odnosno talasne oblike indukovanih elektromotornih sila praznog hoda.

Za izvršene analize korišćena je softverska implementacija metode konačnih elemenata. Na primeru SMSM sa utisnutim i poprečno namagnetisanim magnetima na rotoru izvršena je uporedna analiza uticaja širine otvora statorskog žleba na pomenute performanse motora.

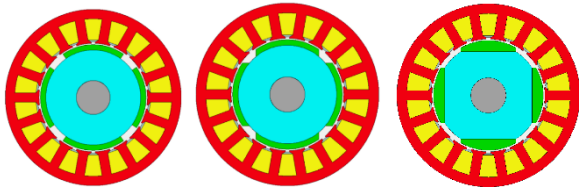
**2. TIPIČNE KONSTRUKCIJE SMSM**

U zavisnosti od načina postavljanja stalnih magneta na rotoru, SMSM se mogu podeliti na sinhrona mašine sa površinski postavljenim i na one sa magnetima utisnutim u rotor.

Kod sinhronih mašina sa površinski postavljenim magnetima, magneti su pričvršćeni na obod rotora. Različite magnetne provodnosti u dva međusobno upravna smera, odnosno dve električno ortogonalne ose dovode do magnetne asimetrije. Te dve ose se nazivaju podužna (direktna)  $d$  osa i poprečna  $q$  osa. Podužna i poprečna induktivnost,  $L_d$  i  $L_q$ , su približno jednake jer nema izraženog efekta isturenosti polova.

Prednost konstrukcije sinhrona mašine sa površinski postavljenim magnetima je to što im je jednostavna montaža. Nedostatak ovako konstruisane mašine je to što je magnet više izložen demagnetišućem polju i centrifugalnim silama. Takođe, ovakve mašine nisu pogodne za pogone kod kojih se zahtevaju velike brzine obrtanja.

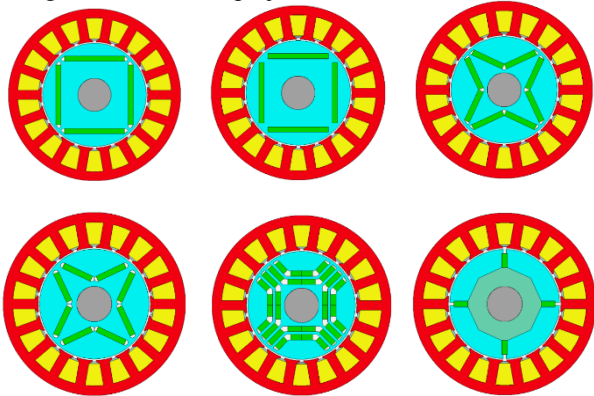
Na slici 1 prikazani su primeri topologije sinhronih motora sa površinski postavljenim stalnim magnetima na rotoru. Svaku od topologija odlikuje različit oblik stalnih magneta, što utiče na način njihovog fiksiranja za rotor, odnosno cenu njihove izrade.



Slika 1. Primeri topologija sa površinski postavljenim magnetima

Kod sinhronih mašina sa utisnutim stalnim magnetima magneti su dobro oklopljeni i zaštićeni, zbog čega su pogodni kod pogona koji zahtevaju veliki raspon brzina. Rotor ovako konstruisanih SMSM ima magnetnu anizotropiju zbog kompleksne geometrije. Sinhrona mašina sa utisnutim stalnim magnetima imaju izraženiju reakciju armature zbog manjeg vazdušnog zazora.

Na slici 2 prikazane su neke od topologija mašina sa utisnutim stalnim magnetima na rotoru. Ovakvom izradom postiže se robusna mehanička konstrukcija, a za izradu rotora je potrebna znatno manja količina gvožđa u  $d$  osi, zbog čega je induktivnost  $L_d$  mnogo manja od induktivnosti  $L_q$ . Postoji zavisnost induktivnosti statora od ugla rotora što dovodi do pojave reluktantnog momenta, koji predstavlja dodatnu komponentu koja se superponira na osnovni momenat, omogućavajući ovakvom tipu mašina veću gustinu momenta po jedinici mase.

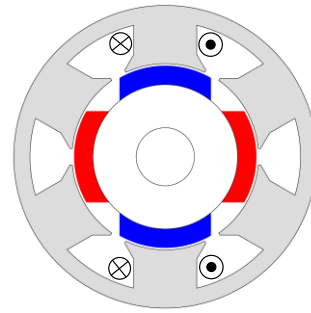


Slika 2. Primeri topologija sa utisnutim stalnim magnetima

Uloga statorskih namotaja jeste da u vazdušnom zazoru mašine osigura magnetno polje. Topologija statora kod oba navedena tipa mašina podrazumeva dve osnovne vrste namotaja: koncentrični namotaj i raspodeljeni namotaj.

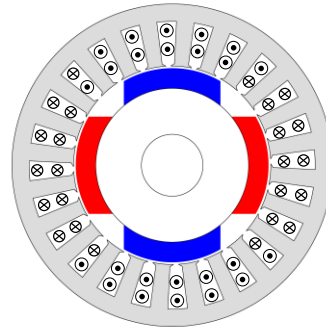
Kod koncentričnog namotaja provodnici su smešteni oko istaknutog pola u jedan veliki žleb. Koncentrični namotaj je manji, jednostavniji i ima manje gubitke u bakru namotaja. Ovakav namotaj daje maksimalni iznos polja (veći nego raspodeljeni namotaj) koje nije sinusnog karaktera usled čega se javljaju viši harmonici.

Na slici 3 prikazana je topologija koncentričnog statorskog namotaja, za slučaj četvoropolne mašine sa površinski postavljenim stalnim magnetima. Ovakav tip namotaja zahteva statorske žlebove velikog poprečnog preseka, te se stoga tipično izrađuje sa malim brojem žlebova. Najčešće je reč o konstrukciji sa necelim brojem žlebova po polu i fazi. Zbog velike površine koju zauzima žleb, zupci statora moraju imati velika proširenja na svojim vrhovima, kako se ne bi narušila ravnomernost zazora.



Slika 3. Primer koncentričnog namotaja četvoropolne mašine sa površinski postavljenim magnetima

Kod raspodeljenog namotaja provodnici su raspoređeni u više žlebova ispod jednog pola. Imaju bolju sinusnu raspodelu polja u vazdušnom zazoru usled čega imaju manji uticaj viših harmonika. Za raspodeljeni namotaj potrebna je veća količina bakra, zbog čega su gubici u bakru veći nego kod koncentričnog namotaja. Na slici 4 prikazana je topologija raspodeljenog trofaznog namotaja statora na primeru četvoropolne mašine sa površinski postavljenim magnetima.



Slika 4. Primer raspodeljenog namotaja četvoropolne mašine sa površinski postavljenim magnetima

### 3. METODA KONAČNIH ELEMENATA

Metoda konačnih elemenata je grafo-numerička metoda koja predstavlja izuzetno moćno sredstvo za izračunavanje fenomena u elektromagnetnom polju koje se uspostavlja u sredinama složene geometrije. Rotacione električne mašine upravo predstavljaju takve uređaje, pa je primena ove metode u analizi njihovog ponašanja sve zastupljenija. Postoje različite implementacije ove metode, u zavisnosti od problema koji se želi istražiti, a najzastupljenija je ona koja se temelji na rešavanju parcijalnih diferencijalnih jednačina magnetskog vektor potencijala  $\mathbf{A}$ .

U zavisnosti od nivoa detaljnosti koji se želi postići, postoje dvodimenzionalne i trodimenzionalne implementacije ove metode. Iskustvo pokazuje da je za širok spektar problema najčešće dovoljno formulisati dvodimenzionalni problem metode konačnih elemenata, naročito za probleme koji nemaju izraženu varijaciju geometrije duž treće dimenzije (u slučaju rotacionih mašina treća dimenzija predstavlja osnu dužinu, kojom se definiše dužina paketa limova). U tom slučaju domen od interesa predstavlja planarnu površ poprečnog preseka magnetnog kola mašine, a konačni elementi na koje se poprečni presek izdružuje postaju trougaoni.

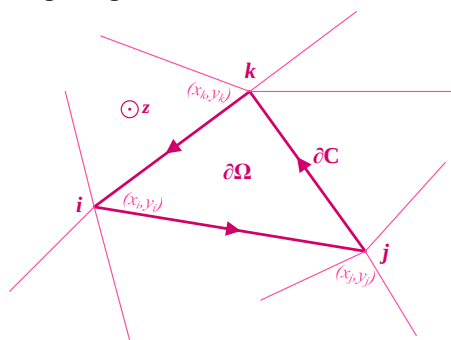


Dvodimenzionalna formulacija metode konačnih elemenata u kojoj je planarna površ poprečnog preseka mašine postavljena u  $xy$  ravni prerasta u parcijalnu diferencijalnu jednačinu u kojoj magnetski vektor potencijal  $A$  ima samo  $z$  komponentu. Relacija koja se može definisati na nivou pojedinačnog konačnog elementa tada glasi:

$$\frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} \right) = -J_{0izv} + \sigma \left( \frac{\partial A_z}{\partial t} + \text{grad}_z V \right) \quad (1)$$

U relaciji  $\frac{1}{\mu} \left[ \frac{H}{m} \right]$  predstavlja permeabilnost, a  $\sigma \left[ \frac{S}{m} \right]$  predstavlja provodnost sredine kojoj konačni element pripada.

Član  $J_{0izv} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$  predstavlja gustinu struje strujnih izvora (ukoliko takvih izvora ima u samom konačnom elementu),  $V[V]$  je električni skalar potencijal, dok  $A_z \left[ \frac{W_b}{m} \right]$  predstavlja pomenutu  $z$  komponentu magnetskog vektor potencijala. Na slici 5 je prikazan detalj jednog konačnog elementa trougaonog oblika.



Slika 5. Detalj konačnog elementa trougaonog oblika

Relacija 1 se nizom matematičkih transformacija prevodi u integralnu jednačinu u kojoj se oblik rešenja forsira unapred definisanim funkcijama oblika trougaonih segmenata.

Za slučaj primene metode u magnetno linearnim sredinama sistem jednačina koje je potrebno formulisati za sve konačne elemente se može značajno brže rešiti nego u slučaju nelinearnih sredina, kada i sama permeabilnost koja u jednačinama figuriše zavisi od intenziteta polja u čijem rešavanju učestvuje kao promenljivi parametar.

Otuda se metoda konačnih elemenata u primeni rešavanja elektromagnetnih polja u električnim mašinama smatra daleko najzahtevnijom metodom sa aspekta računarskih resursa, ali i utroška vremena, budući da se praktično sve rotacione mašine izrađuju od feromagnetskih materijala, koji su izuzetno magnetno nelinearni.

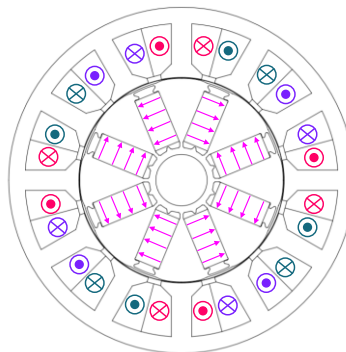
Na osnovu izloženog o metodi konačnih elemenata se može zaključiti da je opravdanost njene primene u direktnoj sprezi sa nivoom detaljnosti uvida u elektromagnetne fenomene u električnim mašinama. Tolika detaljnost se najčešće zahteva u početnim fazama projektovanja i konstrukcije električnih mašina, kada se istraživanjem određenih varijacija u konstrukciji želi odrediti koja će za rezultat dati najbolje performanse, spram unapred definisanih kriterijuma.

Upravo je varijacija konstrukcije i njen uticaj na performanse sinhronne mašine sa stalnim magnetima poslužila kao motiv za primenu metode konačnih elemenata u ovom radu.

#### 4. PRAKTIČAN PRIMER

U ovom poglavlju će se izvršiti analiza uticaja širine otvora statorskih žlebova na talasne oblike indukovanih elektromotornih sila praznog hoda i talasnost parazitivnog momenta sinhronih motora sa utisnutim i poprečno namagnetisanim stalnim magnetima. Kao osnov za analizu će poslužiti motor originalne konstrukcije, kao i njegove dve varijacije koje su izvedene isključivo na nivou simulacionih modela, a predstavljaju modifikaciju originalne konstrukcije sa aspekta promene širine otvora statorskog žleba.

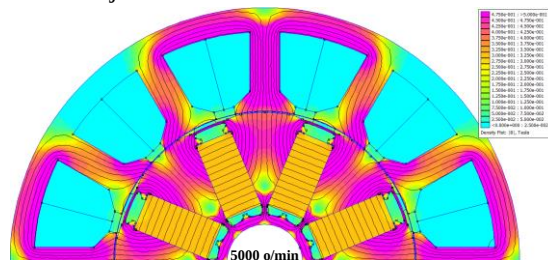
Za motor originalne konstrukcije postoje detaljni kataloški podaci, na osnovu kojih se mogu izraditi odgovarajući FEA modeli. Motor je osmopolni, trofazni, sa koncentričnim statorskim namotajima načinjenim od aluminijuma. Sprega namotaja je zvezda, za nominalni napon od 200 V. Spoljašnji prečnik statorskog lim paketa iznosi 102 mm. Dužina lim paketa razmatranog motora iznosi 35 mm. Utisnuti stalni magneti su izrađeni od ferita. Nominalna brzina obrtanja motora je 5000 o/min.



Slika 6. Izgled poprečnog preseka motora

Na slici 6 je prikazan poprečni presek lim paketa analizirane mašine sa principskom dispozicijom statorskog trofaznog namotaja. Reč je o poprečnom preseku originalne mašine, kojoj otvor statorskog žleba iznosi 4 mm.

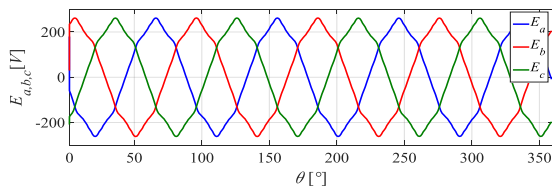
Jednostavnim modifikacijama u nekom od programa za crtanje su načinjene i dve pomenute varijacije širine ovog otvora, od 2 i 6 mm. Nad modelom motora, kreiranim u programskom paketu FEMM 4.2. su zatim izvršene magnetostatičke simulacije, kojima se oponaša rad motora u režimu idealnog praznog hoda pri brzini od 5000 o/min. Kao odziv ovih simulacija se dobijaju vrednosti vektora magnetske indukcije u svakom od konačnih elemenata, koje se zatim koriste za proračun fluksnih obuhvata i indukovanih elektromotornih sila statorskih namotaja, odnosno određivanje talasnosti parazitivnog momenta. Na slici 7 je prikazan odziv magnetostatičke simulacije kojom se oponaša rad motora u režimu praznog hoda pri brzini obrtanja od 5000 o/min.



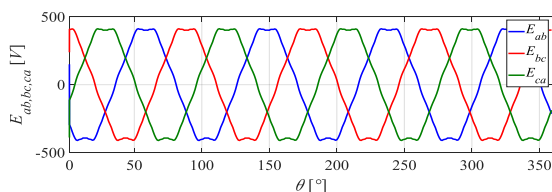
Slika 7. Simulacija za brzinu obrtanja 5000 o/min



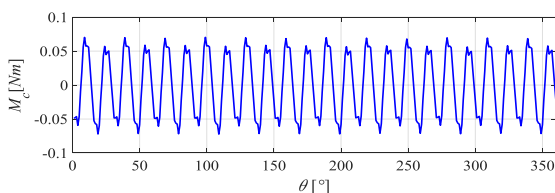
Na slikama 8-16 prikazani su talasni oblici faznih i međufaznih elektromotornih sila praznog hoda, kao i talasnost parazitivnog momenta, za pomenute tri različite širine otvora statorskih žlebova.



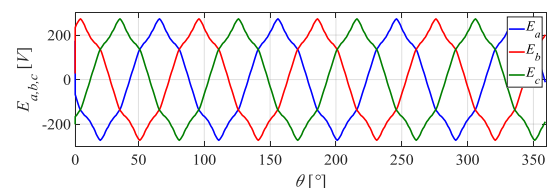
Slika 8. Elektromotorne sile u sve tri faze – otvor 4 mm



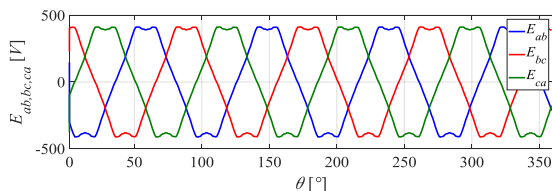
Slika 9. Međufazne elektromotorne sile – otvor 4 mm



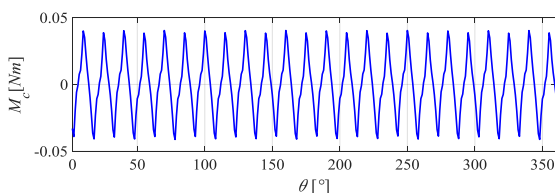
Slika 10. Talasnost parazitivnog momenta – otvor 4 mm



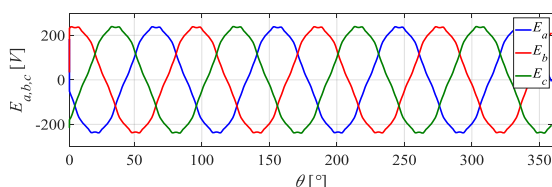
Slika 11. Elektromotorne sile u sve tri faze – otvor 2 mm



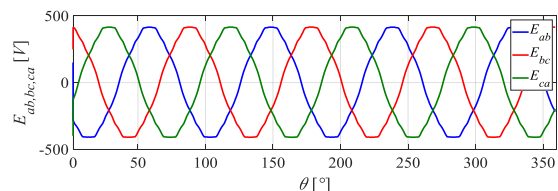
Slika 12. Međufazne elektromotorne sile – otvor 2 mm



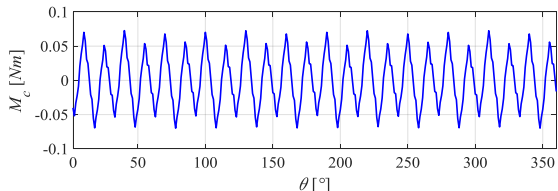
Slika 13. Talasnost parazitivnog momenta – otvor 2 mm



Slika 14. Elektromotorne sile u sve tri faze – otvor 6 mm



Slika 15. Međufazne elektromotorne sile – otvor 6 mm



Slika 16. Talasnost parazitivnog momenta – otvor 6 mm

Uporednom analizom prikazanih odziva se jasno uočava uticaj širine otvora statorskog žleba na talasne oblike razmatranih veličina. Uži otvor smanjuje talasnost parazitivnog momenta, ali izobličuje indukovane napone, dok je kod šireg otvora situacija obrnuta.

Očito da je nužno usvojiti rešenje koje predstavlja kompromis između ova dva sučeljena zahteva, što i predstavlja praktično usvojeno rešenje sa širinom od 4 mm.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane različite topologije konstrukcije sinhronih mašina sa stalnim magnetima. Na praktičnom primeru, primenom metode konačnih elemenata je izvršena uporedna analiza uticaja varijacije širine otvora statorskog žleba na veličine u režimu praznog hoda. Ustanovljen je značajan uticaj ovog geometrijskog parametra, što navodi na zaključak da se o njemu u fazi konstrukcije mašina mora posebno povesti računa.

## 6. LITERATURA

- [1] Nidec Motor, S102F, Summary results, Nidec Sole Motor Corporation.
- [2] Venco Čorluka, „Modeliranje sinkronog motora s unutarnjim permanentnim magnetima i koncentriranim namotom“, doktorski rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2017.
- [3] Besplatni, nekomercijalni softver FEMM 4.2 dostupan na veb stranici [www.femm.info](http://www.femm.info).
- [4] S. J. Salon, Finite Element Analysis of Electrical Machines, Springer US, 1995, pp. 1–16.

## Kratka biografija:

**Milica Marković** rođena je u Zrenjaninu, 1997. godine. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2020. godine. Master rad iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranila je 2021. godine.

**Dejan Jerkan** je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblasť interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata.

**KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE INDUSTRIJSKOG POTROŠAČA NA NAFTNOJ BUŠOTINI****POWER QUALITY OF INDUSTRIAL CONSUMER ON OIL RIG**Slobodan Milosavljević, Vladimir Popović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je prikazan kvalitet električne energije industrijskog potrošača na naftnoj bušotini. Polazi se od teorijskog opisa kvaliteta električne energije sa svim ključnim parametrima koji su bitni za njegov opis. Zatim se definiše merna metoda kao i instrumentacija za snimanje i monitoring kvaliteta. Na kraju, daje se prikaz eksperimentalnih rezultata merenja i izvode se zaključci o kvalitetu isporuke električne energije.

**Ključne reči:** Kvalitet električne energije, Harmonijsko izobličenje, Industrijski potrošač

**Abstract** – This paper presents the power quality of industrial consumer on oil rig. First, theoretical background regarding the power quality in general is given, with all the parameters of relevance. Then, the measuring method is defined for power quality analysis. At the end, experimental results were given regarding the power quality of oil rig industrial consumer and the conclusion is presented accordingly.

**Keywords:** Power quality, Harmonic distortion, Industrial consumer

**1. UVOD**

Predmet istraživanja ovog master rada je kvalitet električne energije industrijskog potrošača. Kvalitet električne energije je jedan od važnih parametara, koji određuje cenu i atraktivnost proizvoda ili usluge i dobija na posebnom značaju krajem 20-og i početkom 21-og veka. Kao aspekt elektroenergetskog sistema kvalitet napajanja i isporuke ranije nije bio dovoljno istaknut kao odvojen, već su se pitanja kvaliteta pojavljivala i rešavala kao posebni problemi pouzdanosti, stabilnosti, naponske regulacije i servisiranja. Danas, kada se govori o kvalitetu uopšte, misli se na četiri aspekta: *upotrebnom kvalitetu, ekološkom kvalitetu, komercijalnom kvalitetu i tehničkom kvalitetu električne energije*. Kvalitet električne energije podrazumeva izvore, posledice i metode kontrole poremećaja, koje se prenose preko elektroenergetskog sistema i utiču na kvalitet napajanja krajnjih potrošača [1].

U ovom radu govori se pretežno i tehničkom kvalitetu energije i to na konkretnom primeru industrijskog potrošača na naftnoj bušotini.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Popović.

**2. UTICAJ KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA POTROŠAČE U EES**

U elektroenergetskom sistemu (EES) se sa vremenom rapidno promenila struktura potrošača u korist povećanog prisustva naponskih osetljivih elektronskih potrošača primenjenih u industriji i domaćinstvima. Varijacije napona dovode do nepravilnog rada ovakvih uređaja ili kvarova, što rezultuje štetama kod potrošača i neoptimalnom toku snaga u EES. Zbog ovakvih čestih pojava, korisnici električne energije očekuju sve veći kvalitet napona koji podrazumeva odstupanja napona u precizno definisanim granicama definisanim tehničkim standardima. Da bi se kvalitet električne energije održao na potrebnom nivou, pred proizvođače i projektante uređaja energetske elektronike postavljen je čitav niz standarda i preporuka iz oblasti kvaliteta električne energije [2].

Neki od problema koje stvaraju harmonici struje su:

- izobličenje talasnog oblika napona na distributivnoj mreži (*problem kompatibilnosti*),
- pregrevanje nultog provodnika,
- pregrevanje transformatora,
- pregrevanje i nepravilan rad električnih motora,
- ugroženost funkcionalnosti relejne zaštite,
- ugroženost rada elektronske opreme,
- uticaj na rad statičkih energetske pretvarača,
- uticaj na telekomunikacione veze,
- naprezanje kondenzatorskih baterija za kompenzaciju reaktivne energije...

**3. KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Kvalitet isporučene električne energije, sa aspekta elektrodistribucije, podrazumeva kvalitet napona na sabirnici na koju se priključuju razni potrošači – tačka zajedničkog priključenja (PCC - point of common coupling). On podrazumeva da se osnovne karakteristike napona – efektivna vrednost, frekvencija, simetričnost i talasni oblik (sinusoidalnost) drže u zadatim okvirima, odnosno na nominalnim vrednostima u ustaljenom stanju elektroenergetskog sistema. U slučaju pojedinačne ili učestale degradacije kvaliteta električne energije, potrošači će iskusiti neke od ranije pomenutih negativnih efekata. Pojava takvih problema će biti indikacija da nešto sa napajanjem nije u redu, mada, u opštem slučaju, uzrok ne mora biti u nekvalitetnom naponu na sabirnici. Osnovni parametri napona, kao osnovna grupa činilaca kvaliteta su: *varijacija efektivne vrednosti napona, varijacija frekvencije i pojava nesimetrije u mreži*.

Uzroci pojave deformacija napona mogu biti različiti i vezani su za razne aspekte rada elektroenergetskog sistema i uticaja okoline na njega. Mogu se razlikovati sledeći uzroci:

- Rad nelinearnih potrošača (*energetski elektronski pretvarači, indukzione i elektrolučne peći, zasićene električne mašine i dr.*). Usled prekidačke prirode rada ili nelinearne karakteristike oni konzumiraju nesinusoidalnu struju i dovode do pojave deformacije mrežnog napona (*stvaranja viših harmonika, flikera, rupa i ureza u naponu i šuma*).
- Normalne operacije u mreži (*neophodne prekidačke manipulacije, priključenja i remont opreme*), koje mogu izazvati deformacije tranzijentne prirode i deformacije u prelaznim režimima.
- Dejstvo prirodnih faktora (*atmosferske nepogode, udari munje u vazdušne vodove, grane drveća, sitne životinje, ptice i dr.*), koji izazivaju zemljospojeve i međufazne kratke spojeve, prenapone, podnapone, propade napona i sl.
- Rad opreme i lokalnog energetskog sistema (*startovanje velikih elektromotornih pogona, nagle dinamičke promene opterećenja ili rada pogona, nelinearnosti u električnim mašinama, fluorescentno osvetljenje itd.*), koji izazivaju varijacije napona, propade napona i sl.

Tabela 1. Indikatori kvaliteta električne energije

| Indikator                                                         | Definicija                                                                                       | Glavna primena                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Ukupna harmonijska distorzija (THDU, THDI)                        | $\sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1^2}}, \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}{U_1^2}}$ | Opisivanje nivoa viših harmonika, standardi                                            |
| Individualna harmonijska distorzija (HD Uh, HD Ih)                | $\frac{U_h}{U_1}, \frac{I_h}{I_1}$                                                               | Opisivanje nivoa viših harmonika, standardi                                            |
| Faktor snage (PF, $\lambda$ )                                     | $P_{tot}/ U_{eff}  \cdot  I_{eff} $                                                              | Naplata reaktivne i harmonijske snage ( <i>mogućnost</i> )                             |
| Fliker faktor                                                     | $\Delta U/ U $                                                                                   | Opis uticaja nelinearnih potrošača preko neregularnog rada žarulja                     |
| Faktor varijacije napona ( <i>efektivna vrednost i trajanje</i> ) | $U_{eff}/U_{nom} \cdot 100 [\%]$<br>$\Delta t$                                                   | Varijacije napona, propadi ili poskoci napona, podnaponi, prenaponi, beznaponske pauze |
| Faktor nesimetrije                                                | $ U_- / U_+ $                                                                                    | Nesimetrija trofaznih mreža                                                            |
| Krest ( <i>Crest eng.</i> ) faktor                                | $U_{peak}/U_{eff}$                                                                               | Vek trajanja dielektrika                                                               |

U Tabeli 1. prikazani su indikatori kvaliteta električne energije, dok su u Tabeli 2. date karakteristike nelinearnih potrošača koji unose harmonike u mrežu!

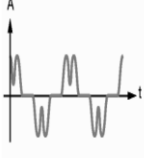
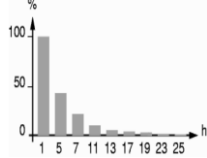
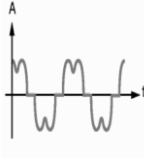
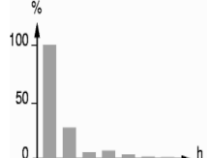
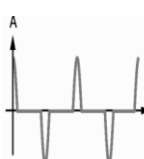
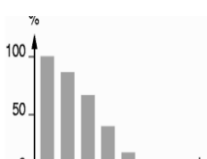
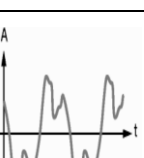
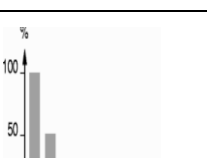
| Nelinearni potrošači                 | Talasni oblik struje                                                                | Spektar                                                                              | THD I [%] |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Regulisani pogoni                    |   |   | 44%       |
| Ispravljači/punjači                  |   |   | 28%       |
| Uređaj za obradu podataka (PC i sl.) |   |   | 115%      |
| Fluorescentno osvetljenje            |  |  | 53%       |

Tabela 2 – Karakteristike određenih izvora harmonika

#### 4. FURIJEVI REDOVI I TRANSFORMACIJA

Furijeova analiza je oblast u matematici koja je primenljiva u drugim naučnim granama (*obrada signala, električna kola, itd.*), i bavi se funkcijama koje se mogu predstaviti kao beskonačne sume trigonometrijskih funkcija, i na taj način se aproksimirati. Furijeove transformacije se mogu primeniti na neperiodične funkcije.

Furijeova transformacija se primenjuje na neperiodične funkcije, pa ćemo primeniti Furijeov red na neperiodičnu funkciju koju ćemo aproksimirati na periodičnu, ali takvu da njen period teži beskonačnosti, [4].

Furijeov obrazac:

$$f(x) = f(x + T) \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx), x \in R \quad (2)$$

$$a_n = A_n \cdot \cos \varphi_n, b_n = A_n \cdot \sin \varphi_n; \quad (3)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \varphi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n}; \quad (4)$$

Prikazani matematički alat je implementiran u okviru uređaja za merenje kvaliteta električne energije, tzv. Analizatori mreže (eng. *Power analyser*).

#### 5. OPIS UREĐAJA ZA MERENJE KVALITETA

Višenamenski merač *Siemens SENTRON PAC3200* je instrument koji omogućava vizualizaciju najrelevantnijih

mrežnih parametara. Pored merenja vrednosti električnih veličina, kao što su napon i struja, omogućava i merenje prividne, aktivne, reaktivne snage, energije, nazivne vrednosti, frekvencije, faktora snage i simetriju i dr., [3].

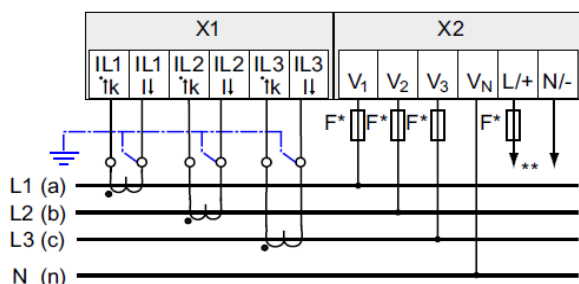


Slika 1. Siemens SENTRON PAC3200, analizator mreže [3]

### 5.1. Tipovi povezivanja uređaja sentron pac3200

| Kraća oznaka | Tip povezivanja                                  |
|--------------|--------------------------------------------------|
| 3P4W         | 3 faze, 4 provodnika, neuravnoteženo opterećenje |
| 3P3W         | 3 faze, 3 provodnika, neuravnoteženo opterećenje |
| 3P4WB        | 3 faze, 4 provodnika, uravnoteženo opterećenje   |
| 3P3WB        | 3 faze, 3 provodnika, uravnoteženo opterećenje   |
| 1P2W         | 1 faza, 2 provodnika, AC                         |

Tabela 3 – Mogući načini povezivanja SENTRON PAC3200 i odgovarajuće oznake



Slika 2 – Trofazno merenje, 4 provodnika, neuravnoteženo opterećenje, bez naponskih transformatora, sa tri strujna transformatora (3P4W)

Primer trofaznog merenja je dat na Slici 2., gde postoje 4 provodnika za napajanje neuravnoteženog opterećenja, bez naponskih transformatora, sa tri strujna transformatora (poluindirektna metoda – 3P4W). Ovakva sprega je iskorišćena u svrhe merenja kvaliteta električne energije industrijskog potrošača koji se razmatra u ovom radu.

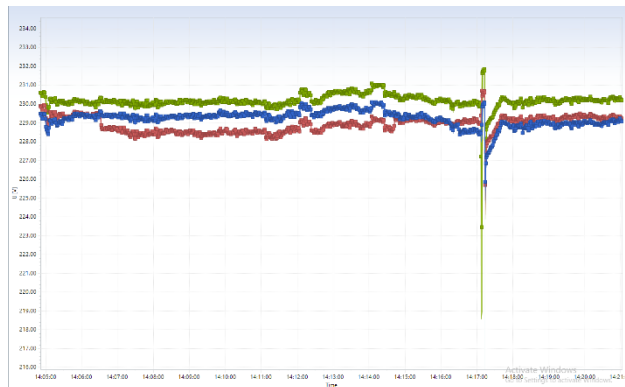
## 6. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Rezultati i slike koji su prikazani u ovom poglavlju su snimljeni na naftnoj bušotini u Turiji. Merenje na bušotinama se može vršiti u trafostanici, u ćeliji koja je predviđena za sopstvenu potrošnju ili u ćeliji koja je predviđena za naftne pumpe (koje možemo videti na mnogim mestima širom Vojvodine) gde postoji efikasniji prikaz procesa napajanja naftne pumpe, njene potrošnje, izobličenja napona i struje, promene opterećenja, uticaja na mrežu itd.

Pored samog pokretanja naftne pumpe ista sadrži i grejače koji se nalaze pri dnu cevi kako bi se nafta zagrejala ukoliko je jako gusta da bi se olakšalo njeno izvlačenje. Ti grejači su napojeni preko istog voda kao i elektromotor

koji pokreće naftnu pumpu. Ukoliko se u toku merenja aktiviraju grejači, njihov uticaj (ukoliko ga ima) na potrošnju, izobličenje i sve prethodno navedene stavke se mogu ispratiti na dijagramima koji se prate preko odgovarajućeg uređaja za merenje.

U ovom slučaju je korišćen Siemens SENTRON PAC3200 uređaj. Dijagrami i rezultati koji su u daljem tekstu prikazani su mereni u periodu od 20 minuta.



Slika 3. Fazni naponi U1, U2 i U3 industrijskog potrošača

Tabela 4 – Procentualno odstupanje (varijacije) tri faze napona industrijskog potrošača naftne bušotine

|                             | U1       | U2       | U3       |
|-----------------------------|----------|----------|----------|
|                             | 229.464  | 229.879  | 230.593  |
|                             | 229.377  | 229.841  | 230.553  |
|                             | 229.34   | 229.809  | 230.528  |
|                             | 229.206  | 229.677  | 230.419  |
|                             | 229.439  | 229.9    | 230.603  |
|                             | 229.461  | 229.943  | 230.637  |
|                             | 229.418  | 229.902  | 230.585  |
|                             | 229.434  | 229.904  | 230.602  |
|                             | 229.197  | 229.645  | 230.371  |
|                             | 228.763  | 229.234  | 229.953  |
| Srednja vrednost (V)        | 229.3099 | 229.7734 | 230.4844 |
| Procentualno odstupanje (%) | 0.300043 | 0.098522 | -0.21061 |

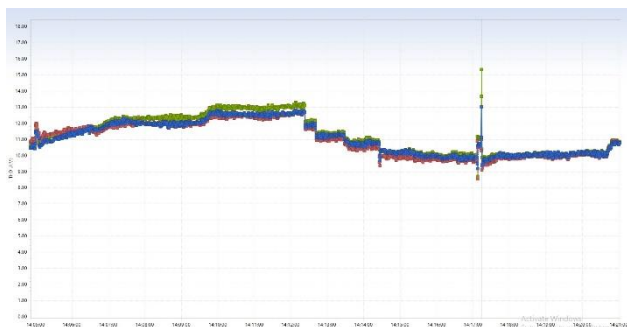
Posmatrani potrošač je industrijski i spada u klasu 3 po standardu IEC 61000-2-4. Za ovaj potrošač, se po tom standardu gledaju pre svega:

- Varijacija napona u odnosu na nominalni  $\Delta U_{eff}/U_{nom}$
- Propad napona  $U_{eff}/U_{nom} \cdot 100[\%]$
- Harmonici napona  $THDU [\%]$
- Odstupanje frekvencije  $\Delta f/f_{nom}$

Na Slici 3. prikazani fazni naponi U1, U2, U3. U Tabeli 4. su prikazane vrednosti napona u toku merenja. Na osnovu standarda IEC 61000-2-4 varijacije napona u odnosu na nominalni napon treba da budu u opsegu od +10% do -15%.

Na osnovu Tabele 4. se može zaključiti da je standard IEC 61000-2-4 zadovoljen, gde su varijacije napona sve tri faze manje od 1%.





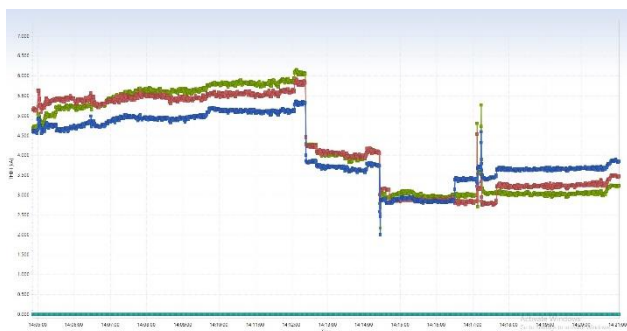
Slika 4. Totalno harmonijsko izobličenje napona  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$

Tabela 5. Procentualne vrednosti totalnog harmonijskog izobličenja industrijskog potrošača naftne bušotine

|                           | THDU1    | THDU2    | THDU3   |
|---------------------------|----------|----------|---------|
|                           | 10.437   | 10.815   | 10.591  |
|                           | 10.453   | 10.847   | 10.634  |
|                           | 10.508   | 10.907   | 10.711  |
|                           | 10.628   | 11.036   | 10.835  |
|                           | 10.611   | 11.023   | 10.812  |
|                           | 10.618   | 10.994   | 10.801  |
|                           | 10.457   | 10.864   | 10.676  |
|                           | 10.419   | 10.84    | 10.636  |
|                           | 10.725   | 11.136   | 10.895  |
|                           | 11.489   | 11.937   | 11.621  |
| Srednja vrednost (V)      | 10.6345  | 11.0399  | 10.8212 |
| Procentualna vrednost (%) | 4.623696 | 4.799957 | 4.70487 |

Na Slici 4. dat je dijagramski prikaz Totalnog Harmonijskog Izobličenja faznih napona. U Tabeli 5. prikazane su vrednosti u voltima u toku merenja. Na osnovu standarda IEC 61000-2-4, totalno harmonijsko izobličenje THDU treba maksimalno da bude 10%. Na osnovu Tabele 5. se može zaključiti da je ovaj standard zadovoljen jer se THDU kreće u opsegu oko 4–5%.

Na Slici 5. prikazan je dijagram totalnog harmonijskog izobličenja struje u vremenu. U Tabeli 6. date su procentualne vrednosti harmonijskog izobličenja struje po fazama. Standardom IEC 61000-3-2 za ovaj potrošač se propisuje da je gornja granica THDI=58%, na osnovu Tabele 6. može se zaključiti da faze 1. i 2. zadovoljavaju traženi standard dok faza 3. drastično prevazilazi standardnu vrednost.



Slika 5. Totalno harmonijsko izobličenje struje  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$

Tabela 4. Totalno harmonijsko izobličenje struje (%)

| THDI1(%) | THDI2(%) | THDI3(%) |
|----------|----------|----------|
| 29.45    | 47.35    | 93.34    |
| 27.29    | 42.53    | 76.56    |
| 25.87    | 39.62    | 66.28    |
| 23.64    | 34.83    | 54.52    |
| 26.53    | 41.18    | 70.48    |
| 26.77    | 41.53    | 71.79    |
| 26.31    | 40.77    | 70.82    |
| 27.72    | 44.24    | 81.36    |
| 27.69    | 44.05    | 79.55    |
| 32.54    | 54.8     | 108.29   |

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu je dat teorijski i eksperimentalni prikaz kvaliteta električne energije. U eksperimentalnom delu dat je prikaz kvaliteta električne energije industrijskog potrošača na naftnoj bušotini, grafički i brojčani prikaz najvažnijih vrednosti za ovaj potrošač : napon, struja, totalno harmonijskog izobličenje napona, totalno harmonijskog izobličenje struje, frekvencija i flikeri. Pored ovih parametara ima još dosta parametara koje uređaj Siemens SENTRON PAC3200 meri ali nisu od relevantnog značaja za ovaj eksperiment. Na osnovu prikazanih vrednosti dolazi se do zaključka da ovaj potrošač zadovoljava sve pomenute standarde i da su vrednosti u granicama normale sem u slučaju THDI3 gde su vrednosti iznad gornje granice koju zahteva standard. Razlog tome je što treća faza napaja najviše uređaja energetske elektronike koji unose smetnje koje se mogu primetiti po brojnim vrednostima THDI3.

## 8. LITERATURA

- [1]. V.Katic-A.Tokic-T.Konjic-Kvalitet električne energije-2007.
- [2]. Prasanna Mantravadi: „Modeling, simulation and implementation of Li-Ion battery powered electric and plug-in hybrid vehicles“, Phd thesis, University of Akron, Aug. 2014. – EFEKTI HAMORNIKA STRUJE I NAPON
- [3]. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504\\_150/att\\_906558/v1/A5E01168664B-04\\_EN-US\\_122016\\_201612221316360495.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504_150/att_906558/v1/A5E01168664B-04_EN-US_122016_201612221316360495.pdf) - SENTRON PAC3200
- [4]. <https://matemamomenti.files.wordpress.com/2016/06/nikola-mandic487-maturski-rad.pdf> - furijeova transformacija

## Kratka biografija:

Slobodan Milosavljević je rođen u Zrenjaninu 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2021. god..

**ISPITIVANJE NELINEARNOG VBR MODELA SINHRONE MAŠINE U REALNOM VREMENU****VERIFICATION OF NONLINEAR VBR MODEL OF SYNCHRONOUS MACHINE IN REAL TIME**

Luka Novaković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTENIKA**

**Kratak sadržaj** – U radu je priložena nova vrsta modelovanja sinhronne mašine. U početku je izvedena opšta teorija modelovanja mašina, a potom proširena za slučaj modelovanja mašina u vidu tzv. VBR namotaja. Obrazložene su prednosti i mane ovog pristupa u odnosu na tradicionalnu dq predstavu sinhronih mašina, a potom je model proširen da obuhvata i magnetnu saturaciju mašine. Nakon detaljnog izvođenja jednačina, model mašine je ispisan u programskim jezicima i implementiran u biblioteku softvera „Typhoon HIL control center“. Model je detaljno ispitan u uslovima stacionarnog stanja, dinamičkih procesa i oblasti saturacije pomoću analitičkih formula i softverskog okruženja „ANSYS Maxwell“.

**Ključne reči:** Sinhrona mašina, magnetna saturacija, FEA, Typhoon HIL, Maxwell ANSYS

**Abstract** – A new type of synchronous machine modeling is presented in this paper. Initially, a general theory of machine modeling was derived, and then extended to the case of machine modeling in the form of the so-called. VBR winding. The advantages and disadvantages of this approach in relation to the traditional QD representation of synchronous machines are explained, and then the model is extended to include magnetic saturation of the machine. After deriving the equations in detail, the machine model was written in programming language and implemented in the "Typhoon HIL control center" software library. The model was tested in detail in the conditions of steady state, dynamic processes and saturation areas using analytical formulas and software environment "ANSYS Maxwell".

**Keywords:** Synchronous machine, magnetic saturation, FEA, Typhoon HIL, Maxwell Ansys

**1. UVOD**

Modelovanje i simulacije energetske sistema je važna disciplina potrebna za izučavanje ponašanja mašina i ostatka kola pri željenim uslovima. Poseban fokus se stoga mora postaviti na precizno opisivanje, ne samo stacionarnih stanja, nego i dinamike koja do njih dovodi. U ovu svrhu koriste se softverski simulatori koji iterativno rešavaju jednačine datog sistema.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, docent.

Kompjuterske simulacije kola najčešće traju daleko duže nego sami procesi u realnim eksperimentima što onemogućava komunikaciju kontrolera i simulacija kao vid detaljnog testiranja. U tu svrhu koriste se "on-line" simulatori čije su računice ograničene fiksnim vremenskim korakom simulacije u kojem se moraju izračunati sve jednačine sistema. Ovaj rad se fokusira na razvoj Voltage-Behind-Reactance (VBR) tipa modela sinhronne mašine sa namotanim rotorom (u daljem tekstu SMNR) za svrhu simulacije u realnom vremenu. Prethodne implementacije ove mašine za rešavače u simuliranom vremenu već postoje [1], [2], [3] i ovaj rad se referiše na njih.

Cilj rada je fleksibilna, nezahtevna i numerički stabilna nadogradnja već postojeće sinhronne mašine u dq domenu sa strujnim izvorima za primenu u realnom vremenu. Za primer je izabrana SMNR u Typhoon-HIL [4] biblioteci, zbog čega se neće gubiti na opštosti. Ovim putem se objedinjuje moderna teorija VBR modelovanja i brojne prednosti testiranja modela sa sinhronim mašinama u realnom vremenu.

**2. IMPLEMENTACIJA VBR MODELA SMNR**

Pri implementaciji električnih mašina u rešavače električnih kola u softverska okruženja za analizu i dizajn (Simulink, PSIM, PLECS, Typhoon Schematic Editor...), potrebno je izvesti izlazne signale mašina u naponske, odnosno strujne izvore. Često se matematičko izvođenje drastično razlikuje za ova dva vida implementacije, pa samim tim i određene numeričke prednosti i mane ovih implementacija.

**2.1. Prednosti i mane postojećeg dq modela**

Pri implementaciji SMNR je u praksi najčešće korišten model statora i rotora čiji se reprezentacije u vidu strujnih izvora kao na slici 1. Ovaj vid modelovanja dozvoljava izvođenje modela gde je razvoj jednačina i matrica stanja intuitivan i jednostavno dobijen. Kako su statorski i rotorski namotaj uprošteni strujnim izvorima, uticaj svih parametara mašina ogleda se u direktno u modelu mašina ali ne i u eksternom kolu. Inherentna mana strujnih izvora jeste u tome što se stanja prekidača i induktora mogu degradirati kada se nalaze redno vezana sa njima. Strujni izvori direktno diktiraju vrednostima struja grana, ne uzimajući u obzir beskraju impedansu otvorenog prekidača, ili fizički nestvarnu situaciju beskraju strme promene struje induktora. U ovakvim okolnostima se

moraju izvesti jednofazna, odnosno trofazna snaber kola čija je uloga povećanje numeričke stabilnosti sistema. Saber kola se izvode pomoću pomoću otpornika, nekada redno vezanim sa kondenzatorima ili induktorima, i oni utiču na pojavljivanje parazitnih struja koja smanjuju preciznost rešenja simulacija.

## 2.2. Prednosti novog VBR modela

Drugi oblik izlaznih signala jesu kontra-elektromotorne sile statora i rotora kao na slici 1. One, zajedno sa impedansom statora i rotora i ostatkom eksternog kola dalje formiraju struje ovih namotaja.

Ovakvo predstavljanje SMNR zahteva daleko složenije izvođenje matematičkog modela, čije se izračunavanje ne može predstaviti samo pomoću matrice stanja već i zamenskih varijabli struja magnećenja.

$$i_{zq} = i_{mq} + \frac{\lambda_{mq}(L_{lkq1} + L_{lkq2})}{L_{lkq1}L_{lkq2}} = \frac{\lambda_{mq}}{L_{mqu}} \quad (1)$$

$$i_{zd} = i_{md} + \frac{\lambda_{md}}{L_{lkd}} = \frac{\lambda_{md}}{L_{mdu}} \quad (2)$$

Značenja individualnih promenljivih i parametara dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Značenja individualnih veličina

|                               |                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| $i_{mq}, i_{md}$              | Struje magnećenja po $q$ i $d$ osi                        |
| $\lambda_{mq}, \lambda_{md}$  | Fluksni obuhvati magnećenja po $q$ i $d$ osi              |
| $L_{lkq1}, L_{lkq2}, L_{lkd}$ | Rasipne induktivnosti prigušnih namotaja po $q$ i $d$ osi |
| $L_{mqu}, L_{mdu}$            | Subtranzijentne induktivnosti po $q$ i $d$ osi            |

Prednost ovakve implementacije je to što impedansa mašine inherentno predstavlja snaber kolo.

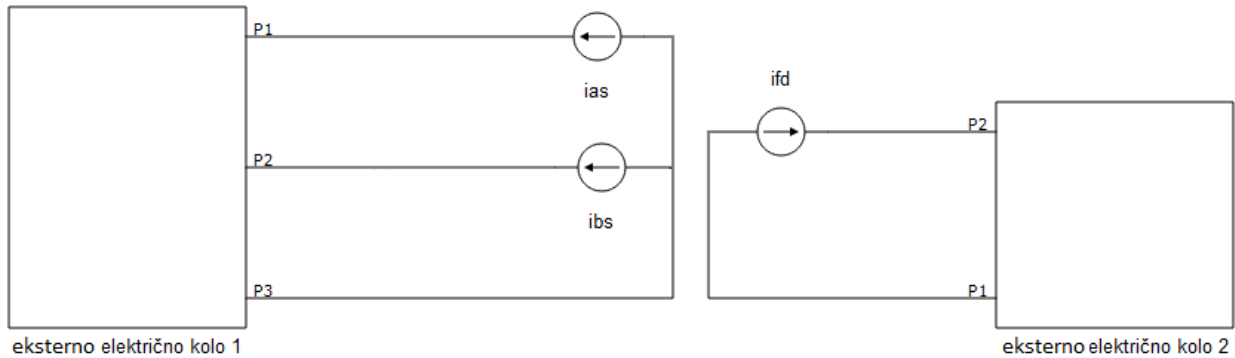
## 2.3. Saturacija

Model je dalje proširen tako da uključuje magnetnu saturaciju što dodatno usložnjava izvođenje modela tako da jednačine (1) i (2) moraju biti modifikovane u jednačine (3) i (4)

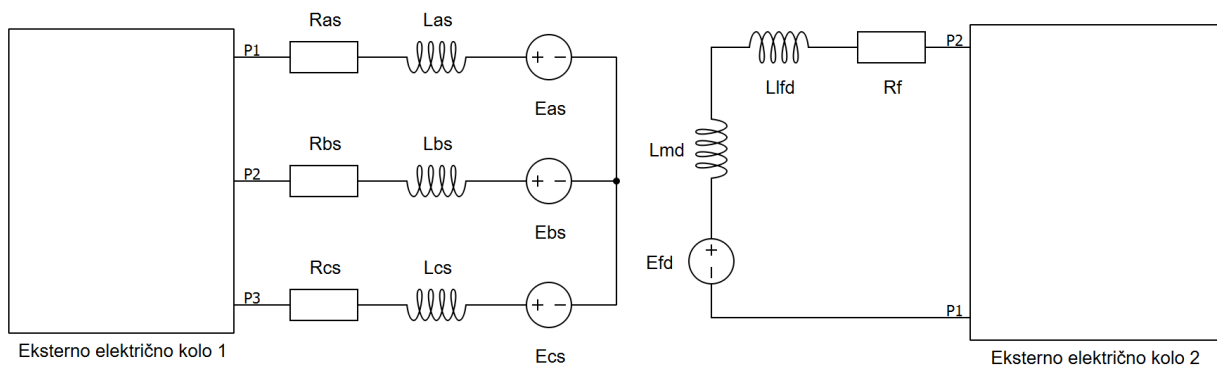
$$\lambda_{mq} = F_q(i_{zq}, i_{zd}) \quad (3)$$

$$\lambda_{md} = F_d(i_{zq}, i_{zd}) \quad (4)$$

Fluksevi magnećenja postaju složene funkcije zamenskih promenljivih magnećenja što drastično otežava računске operacije pre pokretanja modela.



Slika 1. Standardni dq model SMNR sa strujnim izvorima



Slika 2. Izvedeni VBR model SMNR sa naponskim izvorima

## 3. REZULTATI

Nakon implementacije potrebno je verifikovati model SMNR u stacionarnim, dinamičkim i testovima saturacije. Potvrđeno je da se u toku simulacije za zadate parametre eksternog kola i parametara mašina, simulacija sa VBR implementacijom ponaša u skladu sa analitičkom jednačinama sa relativnom greškom od najviše 1%.

### 3.1. Test iznenadnog kratkog spoja

Osim u uslovima stacionarnog stanja, potrebno je da model zadovoljava ponašanja u tranzijentnim procesima. Jedan od standardnih testova sinhronih mašina je test iznenadnog kratkog spoja, usled čega je mašina izložena brzim dinamičkim interakcijama rotora i statora.

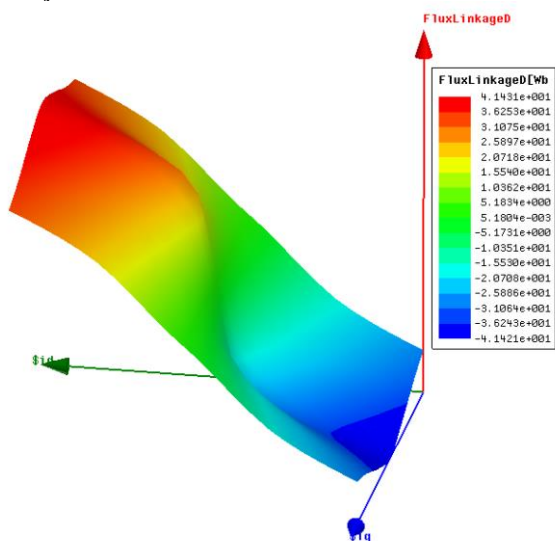
Potvrđeni su rezultati simulacije sa dobijenim rezultatima iz softverskog okruženja Maxwell ANSYS na tabeli 2.

Tabela 2. Operatorske vremenske konstante

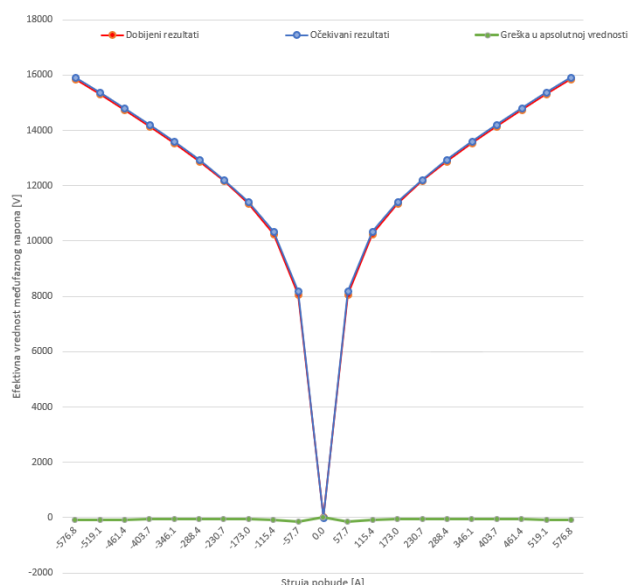
| Naziv konstante | HIL       | Analitički (RMXport) |
|-----------------|-----------|----------------------|
| $\tau_d'$       | 0.66950 s | 0.680853 s           |
| $\tau_d''$      | 0.01103 s | 0.013306 s           |
| $\tau_q''$      | 0.01536 s | 0.025150 s           |

### 3.2. Test magnetne saturacije

Jedna od ključnih fizičkih pojava svake električne mašine jeste magnetna saturacija feromagnetskih materijala.



Slika 3. Oblik magnetne saturacije izveden iz softverskog okruženja ANSYS Maxwell



Slika 4. prikaz rezultata ogleđa praznog hoda. Upoređeni su očekivani i dobijeni rezultati, kao i apsolutna greška na istoj skali

Najčešće je i za manje značajne analize potrebno da model mašine može da oponaša ovaj fizički efekat. Stoga je sproveden i test praznog hoda na osnovu analiziranih tabela magnetne saturacije oblika prikazanog na slici 3.

Rezultati pokazuju zadovoljavajuću sličnost očekivanih i dobijenih rezultata. Relativna greška nenulih vrednosti praznog hoda ne prelaze 2% i mogu se videti na slici 4.

## 4. ZAKLJUČAK

Izvedeni model SMNR zadovoljava odgovarajuće potrebe preciznosti u statičkim i dinamičkim simulacijama kao i u uslovima visoke magnetne saturacije. Model ima svoje prednosti u inherentnim snubber kolima ali i mane usled obimne numeričke računice potrebne pre početka simulacija.

Ovaj model je namenjen da se koristi zajedno sa tradicionalnim QD modelom u zavisnosti od zahteva eksternih električnih kola u simulacijama u realnom vremenu.

## 5. LITERATURA

- [1] N. Amiri, S. Ebrahimi, J. Jatskevich and H. W. Dommel, "Saturable and Decoupled Constant-Parameter VBR Model for Six-Phase Synchronous Machines in State-Variable Simulation Programs," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 34, no. 4, pp. 1868-1880, Dec. 2019, doi: 10.1109/TEC.2019.2907268.
- [2] F. Therrien, M. Chapariha, J. Jatskevich, "Constant-parameter synchronous machine model including main flux saturation," *IET Electric Power Applications*, vol. 10, no. 6, pp. 477-487, Jul. 2016.
- [3] M. Chapariha, F. Therrien, J. Jatskevich and H. W. Dommel, "Constant-Parameter Circuit-Based Models of Synchronous Machines," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 30, no. 2, pp. 441-452, June 2015, doi: 10.1109/TEC.2014.2385099.
- [4] <https://www.typhoon-hil.com/>

### Kratka biografija:



**Luka Novaković** rođen je u Novom Sadu 1997. god. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine 2020. godine.  
kontakt: novakovicluka97@gmail.com



1572

(-2°C, 250 kW). Iz TS Venac 2 se napaja opšta potrošnja mašinske sale i kompresori N250VMD-M (-10°C, 400 kW) N160VLD-L (-2°C, 132 kW), dok se iz transformatorske stanice TS Venac 3 napajaju rashladne kule (evaporativni kondenzatori) i RO-NMS (nova mašinska sala). Sa izvoda RO-NMS napaja se ceo dodatni sistem rashlade -31°C i -41°C koji se sastoji od četiri amonijačna kompresora sa amonijačnim pumpama (-31°C: N160VLD-LB 45 kW, N200VMD-LB 75 kW i -41°C: N160VLD-MB 45 kW i N250VMD-MB 132 kW).

#### 4. IDEJNO REŠENJE SOLARNE ELEKTRANE NEOPLANTA 3 MW<sub>p</sub>

##### 4.1. Lokacija

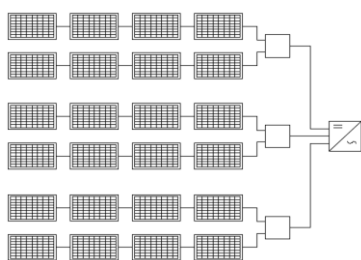
Potencijalna mesta za elektranu su krovovi novog pogona, krovovi starog pogona, krov magacina konzervi, krovovi na transportu (moguća i dogradnja tende za parkiranje automobila) i voćnjak. Na slici 2 je prikazan satelitski snimak fabrike. Može se uočiti da je voćnjak, zbog orijentacije krovova, najzgodnije mesto za izgradnju elektrane.



Slika 2. Moguće površine za izgradnju solarne elektrane

##### 4.2. Topologija

Zbog velike predviđene snage FN elektrane, potrebno je izabrati topologiju gde se mogu formirati podjednaka fotonaponska polja, koja se sastoje iz nizova (*string*) FN panela. Oni se vezuju u jedan distributivni orman (*string combiner*), koji se dalje vezuje na inverter. Na slici 3 je data usvojena topologija vezivanja FN blokova prema kojoj je projektovano idejno rešenje elektrane.



Slika 3. Topologija povezivanja FN polja na inverter preko string combiner-a [3]

##### 4.3. Odabir FN opreme:

Pretvaranje solarne energije u električnu odvija se u FN panelima sa DC izlazima, pa je potrebno odabrati panele odgovarajućih karakteristika, kao adekvatan inverter (DC/AC), koji će proizvedenu električnu energiju pretvoriti u naizmeničnu zahtevanog mrežnog kvaliteta. U tabeli 1 dat je pregled najznačajnijih proizvođača FN panela, a u tabeli 2 vodećih fabrika solarnih invertora,

koji su najviše zastupljeni na evropskom tržištu. Na osnovu detaljne analize, odabran je FN panel firme „LG Energy“, tip Neon R (N-type IBC, 380 W<sub>p</sub>) i inverter proizvođača „SMA“ tip Sunny Highpower peak 3 SHP 100 – 20, snage 100 kW.

Tabela 1. Proizvođači sa tipovima panela

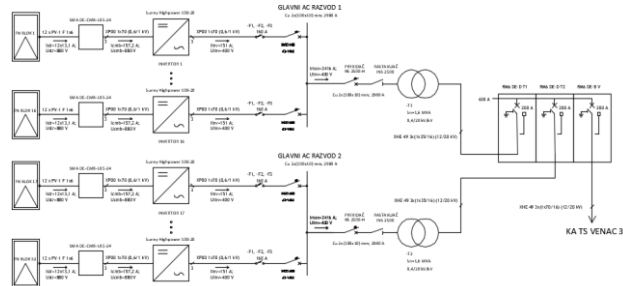
|   | Proizvođač     | Vodeći model | Tip ćelije          | Snaga | Efikasnost | Radni vek | Cena  |
|---|----------------|--------------|---------------------|-------|------------|-----------|-------|
| 1 | LG Energy      | Neon R       | N-type IBC          | 380 W | 22.0%      | 25 godina | 329 € |
| 2 | Sunpower       | Maxeon 3     | N-type IBC          | 400 W | 22.6%      | 25 godina | 425 € |
| 3 | REC            | Alpha        | N-type HJT MBB      | 380 W | 21.7%      | 20 godina | 315 € |
| 4 | Hanwha Q cells | QPeak DUO G9 | P-type Half-cut MBB | 390 W | 20.6%      | 25 godina | 305 € |
| 5 | Winaico        | WST-375MG    | P-type Half-cut MBB | 375 W | 20.6%      | 25 godina | 290 € |

Tabela 2. Ponuda invertora na evropskom tržištu

|   | Proizvođač | Model                               | Ulazni napon [V] | Broj MPPT | Efikasnost [%] | Snaga [kW] | Radni vek | Cena    |
|---|------------|-------------------------------------|------------------|-----------|----------------|------------|-----------|---------|
| 1 | Fronius    | FRONIUS ECO 27.0-3-S                | 1000             | 1         | 98,3           | 27         | 10        | 2.832 € |
| 2 | Solar Edge | SE 27,6K                            | 1000             | 3         | 98             | 27,6       | 8         | 1.825 € |
| 3 | SMA        | Sunny Tripower 25000TL-30           | 1000             | 2         | 98,4           | 25         | 12        | 2.389 € |
| 4 | SMA        | Sunny Highpower peak 3 SHP 100 – 20 | 1000             | 1         | 98,7           | 100        | 12        | 5.899 € |
| 5 | ABB        | Trio-27.6-TL-OUTD-S2X-400           | 1000             | 2         | 98,2           | 27,6       | 10        | 3.586 € |

##### 4.4. Principijalne šeme solarne elektrane

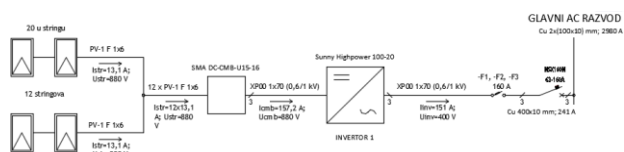
Na slici 4 je prikazana jednopolna šema kompletne solarne FN elektrane. FN paneli su grupisani u 2x16 klastera, koji završavaju inverterom i vezom na AC sabirnicu. NN deo se sastoji od dva glavna AC razvoda koji dalje distribuiraju energiju preko dva energetska transformatora na glavne SN sabirnice. Jedan AC razvod u sebi sadrži 16 FN blokova koji se sastoji od 12 stringova uvezanih preko centralnog string combiner-a, koji je dalje vezan na inverter.



Slika 4. Jednopolna šema FN elektrane

##### 4.3.1. DC-AC razvod

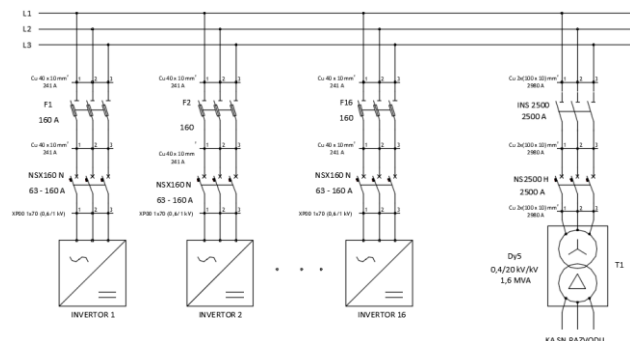
Broj panela za celu elektranu snage 3 MW<sub>p</sub> je 7.680 komada. Za inverter snage 100 kW sa 12 stringova dobija se da po stringu imamo 20 panela. Odabrani paneli LG Neon R LG380Q1C-V5 snage 380 W<sub>p</sub> imaju prema katalogskom podatku struju od 10,17 A, pa je ukupna struja po stringu 157,2 A nakon proračuna za dimenzionisanje kablova. Na osnovu ovih podataka dimenzioniše se jedan FN blok kao i prateća zaštitno prekidačka oprema kao na slici 5



Slika 5. Šema DC – AC razvoda

#### 4.3.2. AC Razvod 0,4 kV

Topologija same elektrane se sastoji iz dva dela što znači da postoje dva nezavisna AC razvoda. Oni se uglavnom smeštaju u objekat ili kontejnersko montažno postrojenje u kojem se nalazi i transformator sa SN razvodom. Izabrani inverter ima mogućnost podešavanja izlaznog napona na 0,4 kV. Na slici 6 prikazana je šema priključenja na AC razvod.



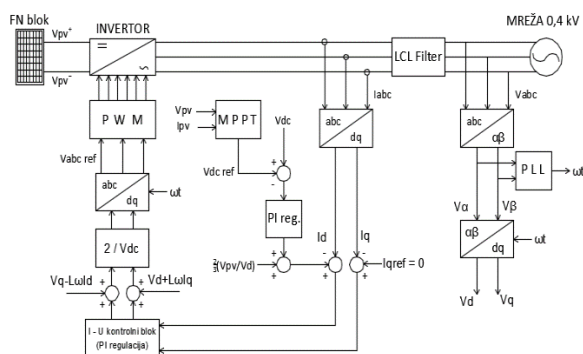
Slika 6. Šema priključenja na AC razvod

Za dalji prenos proizvedene energije, potrebno je dimenzionisati transformator i prateću opremu. Kako je na sabirnice vezano 16 invertora sa izlaznom snagom 91,2 kW, ukupna snagu je 1,459 MW. Odabran je suvi energetski transformator proizvođača FMT Zaječar snage 1,6 MVA, prenosnog odnosa 0,4/20 kV/kV sprege Dy5.

Kako su predviđena dva sistema AC razvoda sa dva energetska transformatora, planirane su dve transformatorske i jedna vodna ćelija u sistemu SN postrojenja. Bira se kompaktno postrojenje RM6 - DE-D proširivog tipa nazivnog napona 24 kV za transformatorske ćelije i RM6 - DE-B za vodnu ćeliju.

#### 5. SIMULACIJA FN BLOKA KORIŠĆENJEM MATLAB / SIMULINK SOFTWARE-a

Na slici 7 predstavljen je model za simulaciju dela predviđene FN elektrane. Uočava se nekoliko blok celina i to: model FN bloka, model invertora, model LCL filtera i model mreže, dok su ostale celine signalno upravljačke.

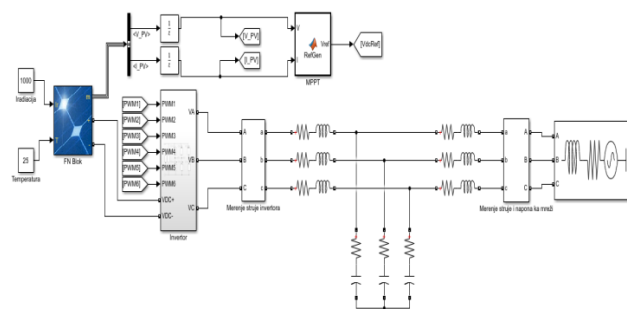


Slika 7. Blok dijagram simulacije sistema [4]

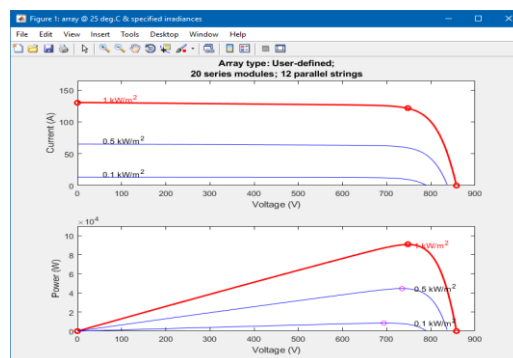
Na slici 8 prikazan je Simulink model komponenti bez upravljačkih signala, koji modeluje blok dijagram sa slike 7. U FN bloku potrebno je podesiti broj stringova i broj panela po stringu. Nakon toga se unose parametri odabranog panela i dobija se izlazna P-V karakteristika sistema FN bloka, koja je prikazana na slici 9.

Simulacija rada MPPT se realizuje preko *Matlab function* bloka u kojem može da se preko *matlabovog* koda isprogramira funkcija po želji. Za praćenje MPP-a obično

se koristi metoda P&O (*perturbe and observe*). U ovoj tehnici se uvode manje promene vrednosti veličina koji uzrokuje promenu snage FN modula. Izlazna snaga FN se periodično meri i upoređuje sa prethodnom snagom ( $P_{old}$  i  $P_{new}$ ) [4].

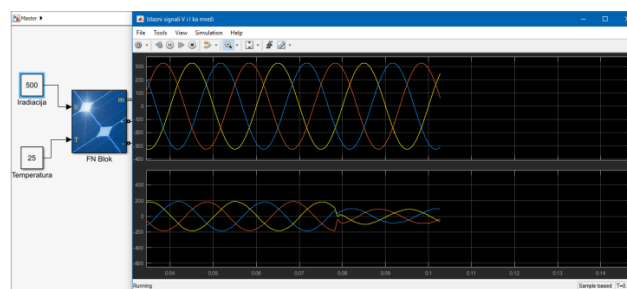


Slika 8. Simulink model FN bloka

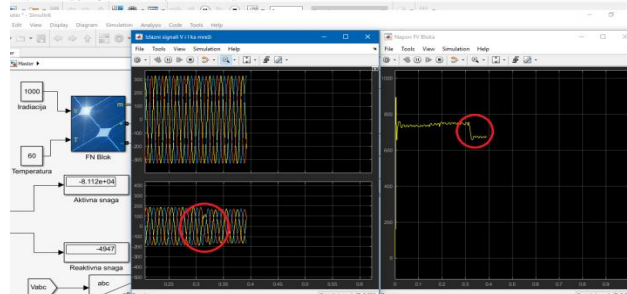


Slika 9. I - U i P - U karakteristike FN bloka

Na slikama 11 i 12 prikazani su neki rezultati simulacije za različite iradijacije i ambijentalne temperature. Na slici 11, može se primetiti da su napon i struja stabilni i pravilnog oblika, a da su vrednosti struje smanjene kod pada nivoa zračenja sa 1000 W/m² na 500 W/m². Na slici 12 vidi se da je promenom temperature došlo do očekivanog pada napona nakon promene iradijacije.



Slika 11. Signali napona i struje nakon promene iradijacije sa 1000 W/m² na 500 W/m²



Slika 12. Grafici napona FN bloka i izlaznih veličina U-I ka mreži nakon promene temperature na 60°C

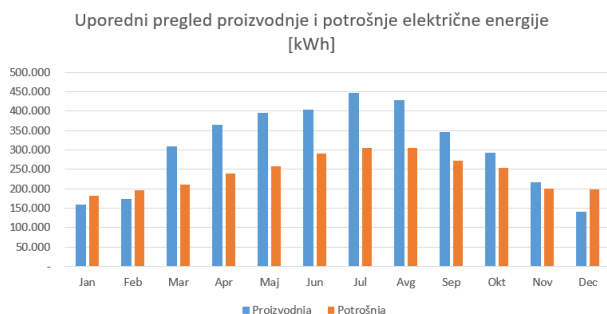


Odavde se može zaključiti da se promenom iradijacije i ambijentalne temperature, menjaju i izlazne vrednosti aktivne i reaktivne snage. Promene izlaznih veličina ka mreži su se dogodile u momentu promene i nakon toga je MPPT algoritam omogućio maksimalnu izlaznu snagu u ovim promenjenim.

## 6. INVESTICIONA ANALIZA SOLARNE ELEKTRANE

### 6.1. Proizvodni potencijal FN elektrane

Da bi se pokazala isplativost investicije (ROI) neophodno je analizirati projektovanu proizvodnju električne energije u odnosu na potrošnju rashladnog postrojenja. Potrebne podatke o potencijalnoj proizvodnji električne energije dobijaju se korišćenjem softvera PVGIS software-a kao na grafikonu sa slike 13 [6], dok su podaci o potrošnji od rashladnih postrojenja iz 2020. god. Vidi se da bi solarna elektrana pokrivala kompletnu potrošnju, uz rezervu poznate interminencije solarne energije. Time je opravdano investirati u ovakvo postrojenje.



Slika 13. Uporedni grafik proizvodnje i potrošnje električne energije u objektu

### 6.2. Tehno-ekonomska analiza

Ukupna investicija za izgradnju solarne elektrane iznosi 2.951.082 €. Nakon investicione subvencije od 25 % cena solarne elektrane iznosi 2.213.312 €. Takođe je bitna napomena da država sa povlašćenim proizvođačima potpisuje ugovor o podsticajima u trajanju od 15 godina a nakon toga se cena menja na redovnu proizvodnu od 7 c€/kWh. [7] I iznosi 319.357 €. ROI računamo tako što ukupnu investiciju sa ukupnom planiranom dobiti na godišnjem nivou i dobijamo povrat ispod 7 godina.

Dobit elektrane za prvih 15 godina tokom trajanja podsticajnog ugovora iznosi 4.962.298 €. Nakon 15 godina ističe ugovor i nastavlja se dobit po redovnoj ceni narednih 5 godina zbog trajanja efikasnosti panela kao i troška za nove invertore što iznosi 1.286.522 €.

Imajući u vidu poslednjih 5 godina trajanja garancije na komponente kao i slabljenje efikasnosti panela, imamo finalnu dobit od 1.109.544 €.

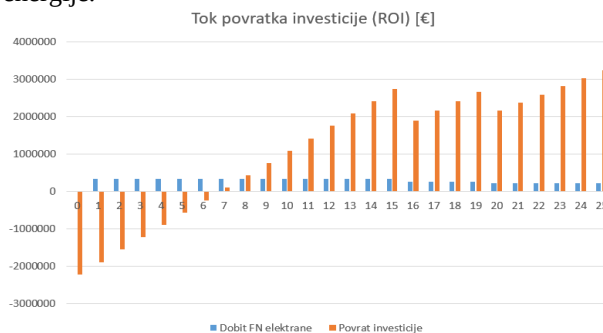
Na slici 14 je prikazan *cash flow* životnog veka elektrane kao i konačna zarada nakon 25 godina eksploatacije koja iznosi 3.247.805 €.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se pokaže kako se u velikim industrijama rashladna energija može nadomestiti energijom iz obnovljivih izvora. Svaki industrijski kompleks koji koristi rashladnu energiju imaće velika naprezanja tokom toplijih dana u godini zbog procesa kondenzacije rashladnog energenta kao i nesavršenosti

komora i odeljenja koja zahtevaju rashladnu energiju. Pokazali smo kroz realnu analizu koji je period otplate ovakve investicije i kako se praktično može u realnim radnim uslovima kompenzovati ovaj trošak električne energije.

Sve navedeno nas navodi na, to da je vrlo isplativo graditi elektrane i postrojenja iz obnovljivih izvora energije jer jedno je siugurno. Koliko god se trošile zalihe fosilnih goriva, sunca, vode i vetra će biti kao nepresušnog izvora energije.

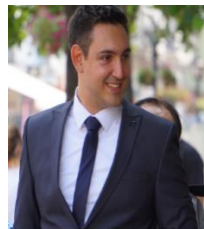


Slika 14. Grafik povrata investicije (ROI)

## 8. LITERATURA

- [1] M. Pucar, M. Nenković-Riznić, S. Simonović, "Mogućnost primene foto-naponskih sistema u urbanism sredinama – studija slučaja", Beograd, 2017.
- [2] Projekat izvedenog stanja rashladnih instalacija Industrije mesa Neoplanta AD, Industrial Refrigeration Care d.o.o., Novi Sad, 2013
- [3] Zoltan Čorba, "Fotonaponsko pretvaranje solarne energije i solarne elektrane", Novi Sad, 2017.
- [4] M. Ahmed, M. Abdelrahem, I. Harbi, "An Adaptive Model-Based MPPT Technique with Drift-Avoidance for Grid-Connected PV System"s, Energies,, 2020
- [5] S.A. Lakshmanan, A. Jain, B. S. Rajpourhit "A Novel Current Controlled Technique with Feed Forward DC Voltage Regulator for Grid Connected Solar PV System", IEEE, 2015
- [6] PVGIS, <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [7] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije: 40/2021-23, "Službeni glasnik RS", broj 40

### Kratka biografija:



**Petar Jovančević** rođen je 1988. god. u Novom Sadu. Srednju elektrotehničku školu, završio je u Novom Sadu 2007 god. Master studije upisao je 2015 godine na studijskom programu Elektroenergetski sistemi, paralelno počeo da radi u struci i završio master studije 2021. god.



**Vladimir A. Katić, red.prof.** rođen je 1954. godine u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. godine. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, kvalitet električne energije i električna vozila.



**KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE NA 0,4 kV STRANI ENERGETSKOG TRANSFORMATORA****POWER QUALITY AT 0.4 kV SIDE OF POWER TRANSFORMER**

Mile Racić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu opisano je merenje i analiza kvaliteta električne energije na 0,4 kV strani transformatora. U pitanju su trafostanice prenosnog odnosa 20(10)/0,4 kV. Prikazani su rezultati merenja, njihova analiza i upoređivanje sa datim standardima za četiri trafostanice.

**Ključne reči:** Kvalitet električne energije, energetski transformator 20(10)/0,4 kV, mrežni analizator

**Abstract** – This paper describes measurements and analyses of power quality at 0.4 kV side of power transformer. These are substations with a voltage ratio of 20(10)/0,4 kV. The result of measurements, their analysis and comparison with the given standards for four substations are presented.

**Keywords:** Power quality, power transformer 20/10/0.4 kV, power quality analyser

**1. UVOD**

Kvalitet isporučene električne energije, sa aspekta elektrodistribucije, podrazumeva kvalitet napona na sabirnici na koju se priključuju razni potrošači. On podrazumeva da se osnovne karakteristike napona (efektivna vrednost, frekvencija, simetričnost i talasni oblik) drže u zadanim okvirima, odnosno sa nominalnim vrednostima u ustaljenom stanju EES-a.

Na karakteristike napona značajan uticaj imaju sami potrošači, naročito grupa nelinearnih potrošača, zatim tranzijentne pojave usled komutacija u EES, atmosferske pojave, kvarovi (kratki spojevi), nevreme, divlje životinje i dr. [1].

Kvalitet električne energije je vezan za odstupanje talasnih oblika napona i struja od idealnog prosto-periodičnog oblika. To savršeno napajanje bi bilo takvo napajanje, koje bi bilo uvek dostupno, bez prekida, sa frekvencijom i naponom uvek u određenim granicama tolerancije i sa čistim sinusoidalnim talasnim oblikom.

Prema tome, kvalitet električne energije se može izraziti kao odstupanje od idealnog kvaliteta i to odstupanje se definiše preko pokazatelja kvaliteta električne energije.

Ukoliko kvalitet električne energije nije zadovoljavajući može se pojaviti dosta problema. Među najznačajnijim su oni vezani za uticaj harmonijskih izobličenja, kao što su:

- Pregrevanje nultog provodnika,
- Pregrevanje transformatora,
- Pregrevanje i nepravilan rad električnih motora,
- Uticaj harmonika na prekidače i zaštitne releje,
- Uticaj na elektronsku opremu,
- Uticaj na rad statičkih energetskih pretvarača,
- Uticaj na telekomunikacione veze,
- Naprežanje kondenzatorskih baterija za kompenzaciju reaktivne energije,
- Izobličenje mrežnog napona usled toka harmonijskih struja,
- Efekti toka harmonika struja kroz provodnike i sabirnice, id r.

**2. STANDARDI I PREPORUKE**

Većina razvijenih industrijskih zemalja sveta, kao i najznačajnije međunarodne organizacije su donele tehničke propise – standard sa navođenjem graničnih vrednosti osnovnih parametara kvaliteta električne energije od kojih zavisi stabilnost rada elektroenergetskog sistema (efektivna vrednost napona, frekvencija i sl.) [1,2]. Ostali parametri, su definisani pojedinačno ili u sklopu sveobuhvatnijih dokumenata o kvalitetu električne energije. Ovi propisi su u obliku ili obavezujućih standarda ili neobavezujućih preporuka. Njih donose međunarodno priznate organizacije od kojih su najpoznatije:

- Međunarodna elektrotehnička komisija (International Electrotechnical Commission – IEC),
- Evropski komitet za elektrotehničku standardizaciju (Committee Europeen de Norme Electriques – CENELEC),
- Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), itd.

**3. OPIS MERNOG MESTA**

Merenja su izvršena na trafostanicama 20(10)/0,4 kV u Novom Sadu, Jasku i Kikindi. U pitanju su trafostanice u firmi Energotehnika Južna Bačka iz Novog Sada, fabrika vode Jazak i livnicu Le Belier u Kikindi.

Mrežni analizator je postavljen na nisko-naponskoj strani (0,4 kV). Na slikama 1, 2 i 3 može se videti postavka mrežnog analizatora firme „Dranez“ [3], koji je korišćen za merenje i monitoring u ormanu trafo-ćelije trafostanice preduzeća Južna Bačka, detalj priključenja merni naponskih sondi, kao i jednopolna šema TS Energotehnika - Južna Bačka.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, redovni profesor.**

#### 4. REZULTATI MERENJA

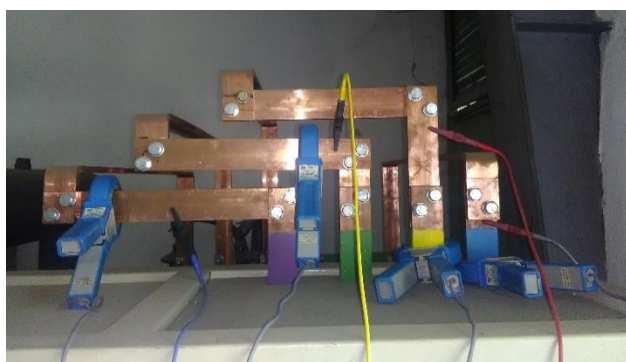
Dana 07.08.2019. na nisko-naponskom razvodnom ormanu izvršena su merenja parametara kvaliteta električnog napajanja na objektu TS Južna Bačka 10/0,4 kV u periodu od 7 dana. Na slikama 4-16 prikazani su rezultati ovih merenja.

Na slikama 4 i 5 se nalaze dijagrami promene efektivnih vrednosti međufaznih napona i struja u sve tri faze u posmatranom periodu.

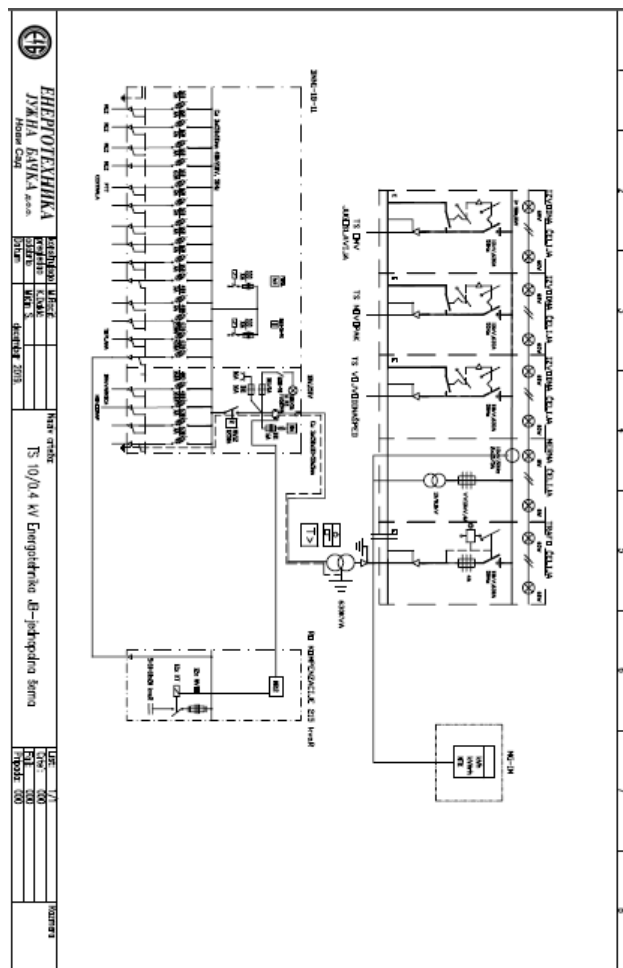
Može se videti da je napon varira u standardnim granicama id a neodstupa više od  $\pm 5\%$ . Kod struje su uočljivi dnevni porasti potrošnje tokom nedelje, kao i niske vrednosti tokom vikenda, kada su radne aktivnosti u firmi minimalne.



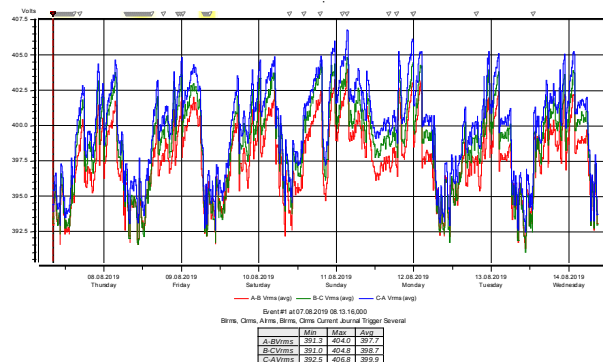
Slika 1 – Orman ćelije nakon postavljanja instrumenta za merenje kvaliteta električne energije



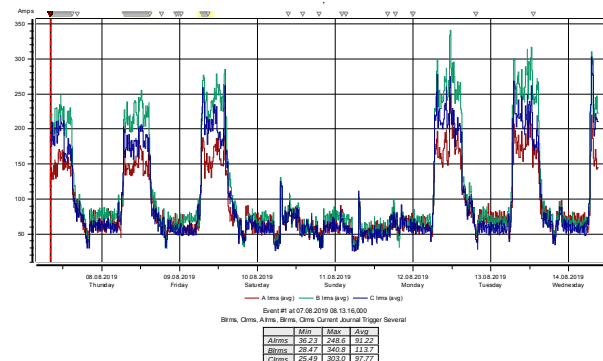
Slika 2 – Strujni i naponski priključci



Slika 3 - Jednopolna šema TS Južna Bačka

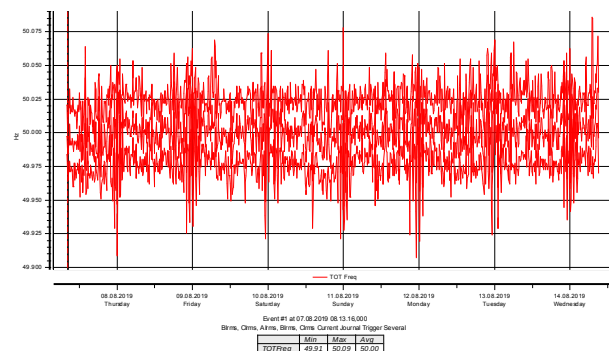


Slika 4 – Promena efektivne vrednosti međufaznih napona u toku 7 dana



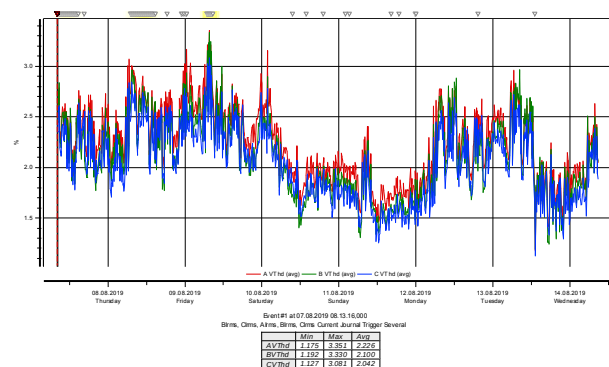
Slika 5 – Promena efektivne vrednosti struja u toku 7 dana

Na slici 6 je prikazano kretanje frekvencije u period merenja i može se videti da joj se vrednosti kreću od 49,9 Hz do 50,09 Hz, pri čemu se ova maksimalna vrednost javlja samo u par mernih tačaka, a pored toga je 95% vrednosti u granicama  $\pm 1\%$ , odnosno 100% u granicama  $\pm 4\%$  - 6% po standardu EN 50160.



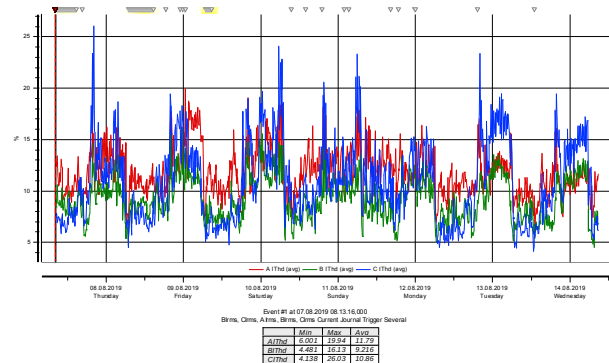
Slika 6 – Frekvencija

Na slici 7 je prikazan THD napona koji ne prelazi vrednost od 3,351% i može se zaključiti da ne postoji povećan THD napona. U granicama je koji je predviđen standardima.



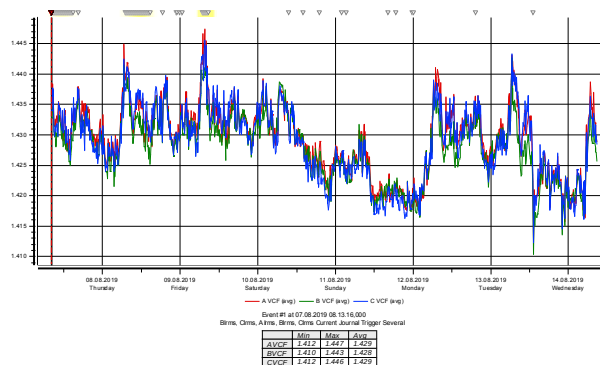
Slika 7 – Promena THDU tokom perioda merenja

U pogledu totalnog harmonijskog izobličenja struja može se zaključiti da postoji povećan THDI. THDI prikazan na slici 8 je blago povišen u odnosu na vrednosti predviđene standardima (preko 20%)



Slika 8 – Promena THDI tokom perioda merenja

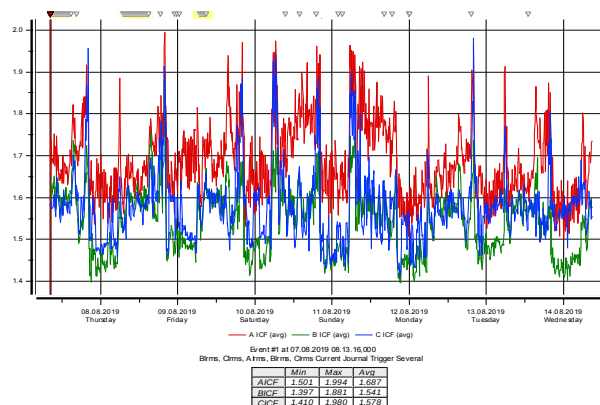
Krest faktor napona, prikazan na slici 9, u posmatranom roku od sedam dana ni u jednom trenutku nije prešao očekivanu vrednost od 1,45%, pa u sistemu neće postojati problem pikova napona.



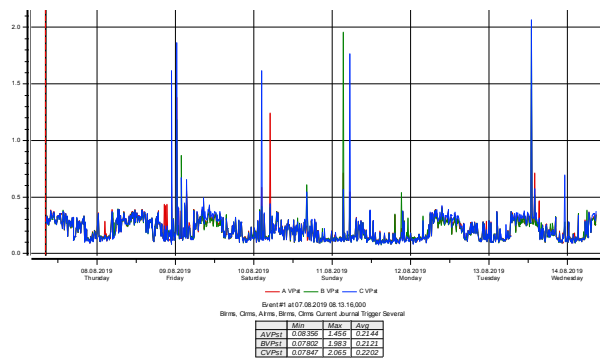
Slika 9 – Promena krest faktora napona u toku 7 dana

Na slici 10 prikazana je promena krest faktora struje. Sa slike 10 može se zaključiti da i krest faktor struje, kao i u slučaju napona, ne prelazi očekivane vrednosti.

Na slici 11 prikazane su izmerene promene flikera u posmatranom periodu. Na osnovu prikazanih grafika uočljivi su veliki pikovi u sve tri posmatrane faze.



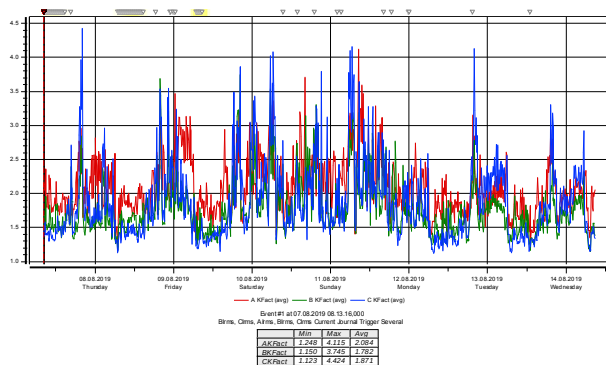
Slika 10 – Promena krest faktora struje u toku 7 dana



Slika 11 – Promena flikera napona u toku 7 dana

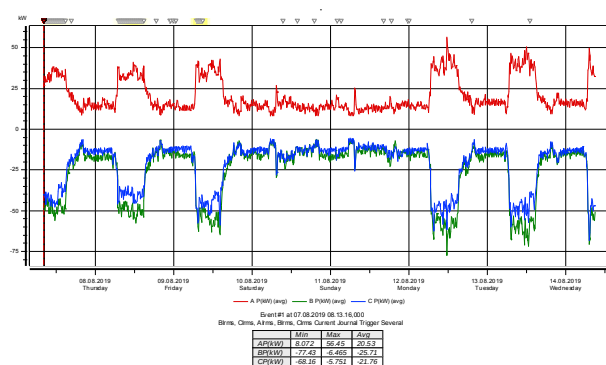
Na slici 12 prikazana je promena faktora derejtinga transformatora, odnosno –  $k$  faktora. Što je veći ovaj factor, to su veći gubici u transformatoru izazvani višim harmonicima, pa se sa slike 12 može zaključiti da  $k$  faktor u pojedinim trenucima može predstavljati problem. Olakšavajuća okolnost je ta što kada je  $k$  faktor visok, efektivna vrednost struje je mala, pa se transformator neće značajnije pregrijati. Ipak, ovakvi rezultati zahtevaju detaljnije razmatranje i po potrebi preduzimanje odgovarajućih mera za smanjenje nivoa viših harmonika, kao što su pasivni ili aktivni filteri na priključcima nelinearnih potrošača.



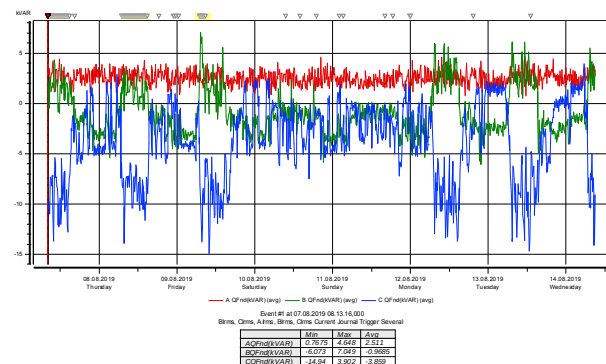


Slika 12 – Promena k faktora u toku 7 dana

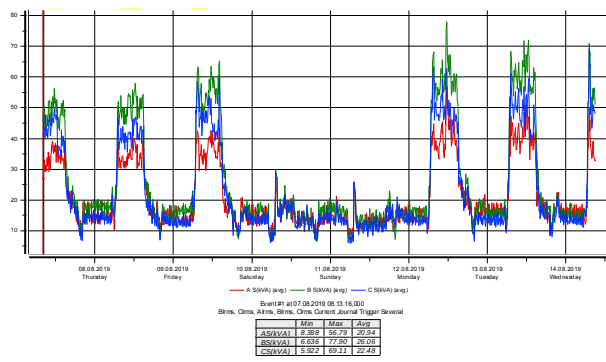
Na slikama 13 i 14 prikazani su nedeljni dijagrami aktivne, reaktivne, dok je na slici 15 data promena prividne snage. Na kraju je na slici 16 predstavljena promena faktora snage.



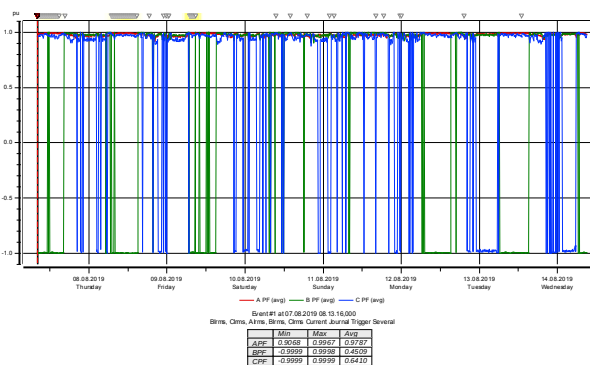
Slika 13 – Dijagram aktivne snage u toku nedelju dana



Slika 14 – Dijagram reaktivne snage u toku nedelju dana



Slika 15 – Dijagram prividne snage u toku nedelju dana



Slika 16 – Promena faktora snage tokom merenja.

Sa prikazanih grafika jasno se vidi da je period povišene potrošnje tokom radnih dana. Za vikend, što je i logično, potrošnja aktivne i reaktivne snage je znatno smanjena posmatrano u odnosu na radne dane.

U pogledu vrednosti faktora snage treba napomenuti da se isti nalazi u opsegu očekivanih vrednosti (od -1 do +1).

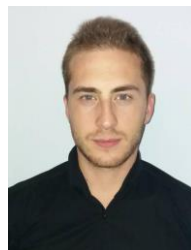
## 5. ZAKLJUČAK

Sa aspekta kvaliteta napona nema većih problema i svi indikatori kvaliteta električne energije spadaju u okvire diktirane stanardima. U većini slučajeva THDU je oko 1%, neretko i manji od 1%. Sa aspekta kvaliteta struje postoji veće odstupanje i svi indikatori ukazuju na to da kvalitet struje nije zadovoljavajući. Razlog su dominantni nelinearni potrošači na što ukazuje veliko harmonijsko izobličenje struje, koje je iznad okvira predviđenih standardima. Da bi se to nedvosmisleno utvrdilo trebalo bi izvršiti detaljnu analizu potrošača i utvrditi pojedinačni negativni uticaj potrošača na kvalitet električne energije.

## 7. LITERATURA

- [1] V. A. Katić, A.Tokić, T.Konjić, "Kvalitet električne energije", TEMPUS-CEFES, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007
- [2] M. M. Kostić, "Kompenzacija reaktivne energije i viši harmonici u električnim mrežama", Elektrotehnički instiut Nikola Tesla, Beograd, 2014
- [3] Power guide 4400, User's guide, Dranetz, New Jersey, 2005

## Kratka biografija:



**Mile Racić** rođen je u Zrenjaninu 1992. godine. Osnovne studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2017. iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine. Master rad je odbranio 2021. godine, na istom fakultetu, na smeru Energetika, elektronika i telekomunikacije – Energetska elektronika i električne mašine.



**MOGUĆNOSTI PRIMENE BIG DATA KONCEPTA U DRUŠTVENIM MREŽAMA****POSSIBILITIES OF APPLYING THE BIG DATA CONCEPT IN SOCIAL NETWORKS**

Ana Petković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – TELEKOMUNIKACIONI SISTEMI**

**Kratak sadržaj** – Ovaj rad se bavi analizom Big Data tehnologije, uvidom u mogućnosti Hadoop platforme za menadžment podataka u distribuiranom okruženju, opisom prirode i značaja društvenih mreža za razvoj savremenog društva, mogućnostima primene ove tehnologije u različitim sferama društvenog života, dok se poseban naglasak stavlja na mogućnosti i benefite primene Big Data u društvenim mrežama, kao i analizom podataka istraživanja o mišljenjima ispitanika o Big Data tehnologiji.

**Ključne reči:** Big Data, Hadoop, društvene mreže, primena Big Data tehnologije

**Abstract** – This paper is about the analysis of Big Data technology, insight into the possibilities of Hadoop platform for data management in a distributed environment, description of the nature and importance of social networks for the development of modern society, possibilities of application of this technology in various spheres of social life, and about possibilities and advantages of applying Big Data on social networks and analysis of research data on the opinions of respondents about Big Data technology.

**Keywords:** Big Data, Hadoop, social networks, application of Big Data technology

**1. UVOD**

Cilj samog rada jeste da pokaže šta je to Big Data tehnologija, njene karakteristike, kao i to koliko je značajna njena generalna primena u savremenom društvu, posebno primena u društvenim mrežama.

U radu je opisan koncept Big Data tehnologije, njen nastanak, njeni sastavni elementi, kao što su Hadoop i MapReduce. Ono što je takođe bilo bitno istaći su društvene mreže i njihov uticaj na današnje doba i povezanost sa Big Data tehnologijom. Naravno, tu je i generalna primena ove tehnologije, a za kraj, dat je prikaz u obliku ankete o tome šta ispitanici misli i znaju o Big Data tehnologiji.

**2. BIG DATA TEHNOLOGIJA**

Digitalna revolucija, odnosno razvoj Interneta, inteligentnih uređaja, društvenih mreža uzrokovali su pojavu velikih količina podataka.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Živko Bojović, vanr. prof.

Primenom tradicionalnih baza podataka nije bilo moguće razviti napredne aplikacije i zbog toga se uvode novi pristupi za skladištenje, koji omogućavaju brzu pretragu i analizu velikih količina podataka u realnom vremenu, koji su zasnovani na različitim modelima primene Big Data tehnologije [1]. Termin Big Data (“veliki podaci”) nastao je krajem prošlog i početkom ovog veka. Tada se uglavnom koristio, da bi se u nauci i praksi ukazalo na značaj obrade velike količine podataka, a za šta se smatralo da je moguće uraditi samo korišćenjem superračunara [2].

Na osnovu životnog ciklusa, Big Data se definiše pomoću 5 dimenzija: Volumen ili obim podataka (*Volume*), Raznovrsnost podataka (*Variety*), Brzina generisanja podataka (*Velocity*), uključujući dve nove dimenzije: Vrednost (*Value*) i Tačnost (*Veracity*) [3].

Primena Big data tehnologije ima za cilj da se omogući što kvalitetnije upravljanje količinom podataka koja raste iz dana u dan, velikom brzinom, kako bi se smanjili troškovi poslovanja, redukovalo vreme koje je potrebno da se izvrše zadaci na računarima i omogućila pojava novih proizvoda i usluga [4].

**3. HADOOP PLATFORMA**

Big Data obuhvata projektovanje i realizaciju infrastrukture i servisa za skladištenje velike količine podataka, kao i za njihovu pretragu, deljenje, analizu i vizuelizaciju. Jedno od softverskih rešenja za infrastrukturu Big Data je *Hadoop* [4].

*Hadoop* predstavlja softver otvorenog koda, koristi se za skladištenje i procesiranje velike količine podataka [1]. Razvijen je od strane *Apache* fondacije, a 2003. počinje negov životni ciklus sa projektom „Nutch“ pokrenut od strane Doug Cutting-a koji se odnosio na mogućnost da se vrše milijarde pretraga, kao i obeležavaju milioni web stranica [5]. *Hadoop* omogućava da se veći problemi svedu na manje, da se analiza brzo i jednostavno sprovede, kao i da kompanije lako upravljaju sa velikim količinama podataka [6]. *Hadoop* se sastoji iz četiri osnovna elementa: *Hadoop Common*, *Hadoop Distributed File System* (HDFS), *Hadoop MapReduce* i *Hadoop YARN* [1].

Glavni cilj HDFS-a je da otkrije greške i automatski ih ukloni, i spreči da pojava greške izazove prekid u radu ili dugo čekanje. HDFS ima *master/slave* arhitekturu, koja je oblikovana prema modelu „rob – gospodar“. Sastoji se od dva čvora: Glavni – master (eng. *NameNode*) i Podređeni čvor – slave (eng. *DataNode*) [5].

HDFS podržava rad sa velikim fajlovima [4]. Iako omogućava pouzdano, dostupno i povoljno skladištenje

podataka, nije dovoljan sam da bi se ostvario odgovarajući nivo adaptacije Hadoop ekosistema. Da bi se taj problem rešio, Google je uveo novi model programiranja, a to je *MapReduce* [7].

MapReduce je softverski okvir, odnosno algoritam koji se koristi za obradu ogromnih količina podataka. Za njega se kaže da je jedno od najefikasnijih rešenja za velike podatke i pruža značajna poboljšanja u velikim aplikacijama koje zahtevaju velike količine podataka u klasterima [11]. Fleksibilan, pruža podršku za rad sa podacima iz različitih izvora (npr. *e-mail*, društveni mediji) koje obrađuje jednostavnim parovima ključ/vrednost. Jedna od glavnih prednosti *MapReduce* programskog modela, je u stvari paralelna obrada podataka, gde se zadaci dele na manje celine koje se paralelno izvršavaju [4].

*MapReduce* je programski model koji se sastoji od dve celine: *Mapper* - uzima i konvertuje set ulaznih podataka u drugi skup podataka, tako što se pojedinačni elementi raščlanjuju u parove ključ/vrednost i *Reducer* - koristi izlaz sa *Mapper* celine kao svoj ulaz i po određenom kriterijumu kombinuje te podatke da bi dobio manje parove ključ/vrednost [4].

#### 4. DRUŠTVENE (SOCIJALNE) MREŽE

Pojava i razvoj Interneta, pretraživača, kao i društvenih mreža doveli su do naglog porasta količine podataka. Tehnologije kao što su računarstvo u oblaku (eng. Cloud computing) i edge computing imaju ulogu u upravljanju velikim podacima. Takođe, ove tehnologije doprinele su razvoju društvenih mreža. Sa pojavom društvenih (socijalnih) mreža podaci se često dupliraju i njihova obrada postaje još veći izazov [9].

Društvene mreže predstavljaju virtualne zajednice u okviru kojih upotrebom informaciono-komunikacionih tehnologija zasnovanih na Internet aplikacijama ljudi danas razmenjuju informacije, mišljenja, stavove i iskustva [3]. Sadržaj na društvenim mrežama kreiran je od strane korisnika prema njihovim potrebama. Ideja društvenih mreža nastala je još 1890-ih godina od strane Emil Dirke i Ferdinand Tenisa, u njihovim teorijama i istraživanju društvenih grupa [10]. Društvena mreža se sastoji od dve celine: čvorišta (eng. *node*) i veze (eng. *edge* ili *links*) [11]. Društvene mreže se mogu opisati pomoću sedam blokova: identitet, konverzacija, deljenje, prisustvo, veze, reputacija i grupe [3]. Društvene mreže omogućavaju korisnicima da kreiraju javne ili polu-javne profile, pregledaju spisak korisnika sa kojima imaju veze, sačuvaju pregled i prenos njihovog spiska veza, kao i od drugih korisnika unutar sistema [10].

Društveni mediji se mogu podeliti u sledeće grupe: *Twitter* - predstavlja jednu od najpopularnijih društvenih mreža koja povezuje uticajne ljude, političare, menadžere i poslovne ljude, *Facebook* - je najpopularnija globalna društvena mreža koju koriste preko milijardu ljudi iz svih strana sveta sa različitim profilima. Pruža razne mogućnosti, kao što su: profil, chat, grupa, događaji, fan stranica, plaćeni oglasi, *YouTube* - predstavlja najveću i najpopularniju društvenu web stranicu u svetu, koja ima ulogu u deljenju video snimaka, *LinkedIn* - je poslovna društvena mreža koja ima ulogu u povezivanju

poslodovaca i ljudi koji traže posao. Sve navedene društvene mreže su i edukativnog karaktera [3].

#### 5. GENERALNA PRIMENA BIG DATA TEHNOLOGIJE

U oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija, u najvećoj meri se primenjuje Big Data analitika. Big Data analitika ima potencijal da unapredi poslovanje, kao i svakodnevni život. Mogućnost primene Big Data tehnologije je ogromna, primenjuje se i u drugim oblastima sem informaciono-komunikacionih tehnologija, kao što su: telekomunikacije, finansije, bezbednost, marketing, zdravstvo, sport [12].

##### 5.1. Primena Big Data tehnologije u telekomunikacijama

Big Data tehnologija ima veliku i značajnu primenu u oblasti telekomunikacija. Najznačajni deo telekomunikacija jesu mobilne telekomunikacije u okviru kojih imamo da operateri generišu ogromne količine podataka koje se odnose na telefonske razgovore, SMS i MMS poruke, korišćenje mobilnog Interneta, lokaciju korisnika mobilnog telefona, kao njegovo kretanje, interakciju između operatera i korišćenje mobilnih telefona u inostranstvu [12].

##### 5.2. Primena Big Data tehnologije u finansijama

Primena Big Data tehnologije u finansijama ima značajnu ulogu. Omogućava da se podaci o transakcijama obrade u najkraćem roku i da se na osnovu njih vizuelizuju dobijeni rezultati koji mogu da se koriste za unapređenje poslova [12].

##### 5.3. Primena Big Data tehnologije u bezbednosti

Najvažnija primena Big Data tehnologije jeste u bezbednosti, koja će imati veliki značaj u budućnosti. Big Data tehnologija omogućava da se preventivni rad podigne na najviši nivo i da se pravovremeno identifikuju bezbednosne pretnje ili teroristički napadi.

Kod preduzeća čije poslovanje uključuje potraživanje ili obradu transakcija, Big Data ima najupečatljiviju ulogu primene u otkrivanju prevare [12].

##### 5.4. Primena Big Data tehnologije u marketingu

U marketingu, Big Data predstavlja ostvarenje sna kod ljudi i ukazuje na velika obećanja u toj sferi [10]. Koncept Big Data pomaže ljudima koji se bave marketingom da odgovore na pitanje ko, šta i kada kupuje, dosta brzo, jasno i transparentno, ali zapravo pravi doprinos se ogleda u stvaranju novih oblika vrednosti za kupce. U sferi kupaca, u marketingu, Big Data uključuje ljudske stavove, marketinške kampanje, prodajna mesta, web lokacije, ankete kupaca, društvene medije [13].

##### 5.5. Primena Big Data tehnologije u zdravstvu

Budućnost primene Big Data leži i u oblasti zdravstva (medicina i farmacija). Neki od podataka koji se generišu u oblasti zdravstva su: podaci senzora koji mere vitalne funkcije pacijenata, biometrijski podaci, podaci za ljudske

gene, klinička ispitivanja, za registraciju lekova, laboratorijski, administrativni itd [12]. U medicini, uz pomoć Big Data, možemo unapred otkriti koji pacijenti imaju povećan rizik od oboljevanja, kao što su: srčane bolesti, dijabetes, astma [12]. Takođe, praćenje i predviđanje kretanja epidemije i pojave bolesti [14].

Korišćenjem Big data uočava se mogućnost primene određenih lekova za lečenje nekih bolesti za koje se do tada nije znalo da ih ti lekovi mogu lečiti. Svaki učesnik na farmaceutskom tržištu i apoteke koriste Internet i tako ulaze u digitalni svet. Generišu velike količine podataka, kao što su profili i navike potrošača, kulturološki obrasci, penetracije na tržište, a koji se obrađuju uz pomoć Big Data tehnologije [12].

Big Data tehnologija ima svoju primenu i u brojnim drugim oblastima medicine i farmacije, kao što su unapređenje rada zdravstvenog sistema, zdravstvenog osiguranja, nacionalnih agencija za lekove [12].

### 5.6. Primena Big Data tehnologije u sportu

Big Data aplikacije se u velikoj meri mogu koristiti da bi se poboljšale sportske performanse u različitim sportovima, kao što su: košarka, fudbal, tenis, bejzbol, formula. Njena primena je dobila značajnu ulogu kod profesionalnog sporta, upravo sa pojavom senzora u loptama, pametnih narukvica, koje prate zdravstveno stanje sportiste, kamera na terenu, GPS uređaja u odeći. Data tehnologija je izvršila analizu velikih serija podataka koji se koriste na sportskim takmičenjima i vrše predviđanje rezultata određenih sportskih manifestacija [12].

Pored navedenih oblasti, moguća primena Big Data je i u predviđanju prirodnih katastrofa i pronalaženju naftnih bušotina na osnovu analize velikih serija geoloških podataka [12].

## 6. PRIMENA HADOOP-A I BIG DATA U DRUŠTVENIM MREŽAMA

Primena Big Data tehnologije u društvenim mrežama je počela pre oko deset godina i poklapa se sa intenzivnim razvojem Google i Yahoo pretraživača i njihovom odlukom da započnu razvoj softverskih rešenja kojima bi se iskoristile velike količine generisanih podataka i iz njih izvukla određena vrednost. Da bi se ti veliki podaci uspešno, ali optimalno uskladištili, koristi se Hadoop tehnologija blisko povezana sa Big Data konceptom [15].

Društvene mreže su jedan od najreprezentativnijih i najrelevantnijih izvora podataka za velike podatke (eng. Big Data). Podaci o društvenim mrežama se dobijaju iz različitih Internet aplikacija i web lokacija (Facebook, Twitter, LinkedIn, Youtube, Google) čiji razvoj stvara novu generaciju ljudi, odnosno omogućava povezivanje korisnika koji međusobno sarađuju, dele podatke i komuniciraju [8]. Neke kompanije, kao što su Facebook, LinkedIn, Amazon razvile su svoje platforme preuzimajući neke delove Hadoop-a, i zadržale isti princip rada, odnosno i dalje se skladište velike količine podataka i koristile ga u edukaciji i produkciji. Hadoop omogućava analizu velikih količina nestruktuiranih podataka, kao i

njihovu brzinu. Ti podaci su video i audio podaci, postovi na društvenim mrežama, slike. Hadoop je postao de fakto standard za Big Data, počeo je da raste i da se menja u skladu sa tržištem, tako da je mogućnost primene Hadoop-a svuda gde imate mnogo podataka koje ne možete da obradite tradicionalnim alatima [15]. Veza između Big Data tehnologije i društvenih mreža se zasniva na analitici velikih količina podataka koji mogu nastati iz različitih distribuiranih izvora, ali sa akcentom na društvene medije. Veliki podaci društvenih mreža moraju se složiti kako bi se omogućile bolje usluge korisnicima. Prikupljanje, obrada i analiza velikih podataka o društvenim mrežama je težak zadatak jer klasične metode, algoritmi i alati za upravljanje podacima su postali neadekvatni za obradu velikih količina podataka. Potrebno ih je vizualizovati kako bi se korisnicima omogućio bolji kvalitet, iskustva i veća razumljivost, jer se veliki podaci mogu transformisati u različite formate [8]. Postoji mnogo tehnologija (Amazon, Google) koje rade analizu podataka pošto su određene kompanije uložile veliki novac u razvoj softvera [14]. Društvena mreža Twitter koristi Hadoop distribuiranu bazu podataka – Cassandra [15].

Kao što je već napomenuto, Big Data se obično karakteriše sa „tri V“, odnosno zapremina, brzina i raznovrsnost [10]. Dimenzija *obim* se odnosi na ogromne količine podataka koje pruža društvena mreža. U slučaju da kompanija ne prati konstantno razgovore i strimove na Twitter-u može da propusti pominjanje svog brenda. Big Data može da reši ovaj problem, tako što omogućava da se sačuvaju sva pominjanja koje se posle mogu da pregledaju i analiziraju. Što se tiče dimenzija *brzine*, ona predstavlja brzinu dodavanja podataka. Kod Big Data i društvenih mreža, brzina se odnosi na dodavanje novih informacija iz različitih mreža u bilo kom trenutku, jer društveni mediji nikad „ne spavaju“. Razvojem brzine podataka, povećava se i vreme provedeno na društvenim mrežama. Treća dimenzija *raznovrsnost* se odnosi na različite vrste informacija koje se mogu prikupiti pomoću velikih podataka, tj. na postojanje različitih izvora, kao što su video snimci za nadzor, satelitske slike, mobilni tvitovi, senzori. Raznovrsnost velikih podataka na društvenim mrežama omogućava korisnicima da vide način da se povežu sa željenom publikom [16].

Društvene mreže su postale svakodnevica u svim sferama života, pa i u obrazovanju [14]. Prednost društvenih mreža jeste što značajno unapređuju i povećavaju obim poslovanja. Danas, društvene mreže su zastupljene širom sveta i omogućavaju komunikaciju i deljenje podataka u bilo kom trenutku. Predstavljaju ključ u poslovanju kompanija u budućnosti [10].

## 7. ZAKLJUČAK ISTRAŽIVANJA STAVOVA GRAĐANA O BIG DATA TEHNOLOGIJI

Istraživanje je sprovedeno za potrebe master rada, imalo je za cilj da se proverí kakvi su zapravo stavovi i znanja ispitanika kada je u pitanju primena aplikacija koje se baziraju na Big Data tehnologiji.

Sprovedeno je tokom juna meseca 2021. god., pomoću online upitnika i obuhvaćeno je 150 ispitanika.

Završetkom istraživanja, dobili su se jasni rezultati o tome koliko su ljudi upoznati sa Big Data tehnologijom. Današnje, moderno društvo je upoznato sa savremenim tehnologijama, jer su one deo njihovog svakodnevnog života, tako da je više od 50% ispitanika reklo da je čulo za Big Data tehnologiju, koja će takođe biti deo njihove svakodnevnice, ali manji broj razume pravi koncept Big Data tehnologije i njene uloge.

Kod nas u Srbiji se još uvek ne koristi kao u inostranim zemljama, tako da su odgovori ispitanika bili različiti, nekima pomaže malo, nekima mnogo jer za kratak vremenski period obrade velike količine podataka, ali ispitanici smatraju da Big Data tehnologija ipak ima veliki uticaj u zdravstvu, bezbednosti i naročito na poslovanje kompanija. Ispitanici koriste u većoj meri društvene mreže, najviše Instagram i Facebook, dok YouTube, Twitter i ostale u malo manjoj meri. Skoro 70% ispitanika smatra da Big Data ima ulogu na društvenim mrežama, da omogućava skladištenje velikog broja podataka, brže prikupljanje, analizu i deljenje podataka, otkrivanje prevara, masovnu obradu podataka korisnika društvenih mreža, kao i plasiranje reklama tim istim korisnicima. Najveći broj ispitanika za svoj izvor informacija je odabralo društvene mreže i web stranice, koje imaju veliki uticaj na njihove mišljenje.

## 8. ZAKLJUČAK

Ogromne količine podataka, koje dolaze iz raznih izvora, neverovatnom brzinom, predstavljale su problem kompanijama u njihovom poslovanju, jer one nisu bile u mogućnosti doneti kvalitetnu i brzu odluku, ali pojavom Big Data tehnologije, sve to postaje prošlost. Tada je postalo moguće prikupljati, kombinovati i analizirati u pravcu generisanja informacija u realnom vremenu, i skratiti vreme potrebno za njihovu obradu i analizu, koje su od izuzetnog značaja za donošenje dobrih strateških, taktičkih i operativnih poslovnih odluka, u gotovo svim oblastima poslovanja.

Veliki broj preduzeća u svetu su prihvatili Big Data tehnologiju kao tehnologiju od koje mogu imati velike koristi i deo svojih ljudskih i finansijskih resursa namenili razvoju primene Big Data tehnologije u svom poslovanju. Sa porastom primene ove tehnologije, pojavljuju se i kompanije koje su stručne za njenu implementaciju u svakodnevno poslovanje, kao što su vlada, razne institucije i pojedinci. Pojedine kompanije, velike korporacije, idu korak dalje i osnivaju vlastita odeljenja koja se bave Big Data tehnologijom. Ona pruža velike mogućnosti jer nam pomaže u razvoju novih kreativnih proizvoda i usluga, kao npr. aplikacija na mobilnim telefonima ili proizvodima poslovne inteligencije za kompanije.

Društvene mreže su jedan od najreprezentativnijih i najrelevantnijih izvora podataka za Big Data i njihova veza se zasniva na analizi velikih količina podataka.

Na osnovu svega sprovedenog može se zaključiti da Big Data predstavlja pravu revoluciju poslovanja u mnogim oblastima i da zasigurno menja svet i da će to raditi budućnosti, kao i da možemo iskoristiti bogatstvo podataka koje je do sada samo prolazilo pokraj nas.

## 9. LITERATURA

- [1]<https://elab.fon.bg.ac.rs/udzbenik-internet-inteligentnih-uredaja/bid-data-i-internet-inteligentnih-uredaja/>
- [2]<http://digitalnapismenost.net/2017/11/23/big-data-drustvena-istrzivanja/>
- [3]<http://www.ef.uns.ac.rs/predmeti/oas/informacione-tehnologije-i-sistemi/2019-12-19-materijal-za-pripremu-usmenog-ispita-za-pitanja-81-88.pdf>
- [4] Živko Bojović, Jelena Šuh, Petar Bojović, „Softverske tehnologije u računarskim mrežama sa velikim podacima“, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, pp 137.
- [5] Andrea Grozdek, „Tehnologije za rad sa velikim podacima“, Univerzitet u Zagrebu, Prirodno–matematički fakultet, matematički smer, 2017. pp 17-26.
- [6]<https://startit.rs/big-data-hadoop-apache-spark/>
- [7] Aleksandar Simović, Zoran Čirović, „Primena Hadoop okvira u analizi velikih skupova podataka“, INFOTEH-JAHORINA Vol. 15, March 2016, pp 597.
- [8] Gema Bello-Organ, Jason J. Jung, David Camacho, „Social big data: Recent achievements and new challenges“, Computer Science Department, Universidad Autónoma de Madrid, Spain i Department of Computer Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Republic of Korea, 2016, pp 45-46.
- [9] Youke Wu , Haiyang Huang, Ningyun Wu , Yue Wang , Md Zakirul Alam Bhuiyan , Tian Wang, „An incentive-based protection and recovery strategy for secure big data in social networks“, 2019, pp 79.
- [10] Slobodan Anđelković, „Savremene društvene mreže“, Univerzitet Singidunum – Departman za postdiplomske studije, master rad, 2015, pp
- [11]<http://www.skladistenje.com/social-network-analysis-analiza-nedrusevenih-mreza-1-dio/>
- [12]<https://www.slideshare.net/IgorLazareviMScEcono/big-data-poslovna-primena>
- [13] Ana Zekavica, Maja Ćirić, Jovanka Vukmirović, „Značaj fenomena Big Data za donošenje marketinških odluka u realnom vremenu“, Ekonomija, stručni rad, 2018, pp 40-41.
- [14] Miloš Popović, „Analiza twitter podataka mogućnosti primene u edukaciji“, Univerzitet Singidunum Beograd, departman za postdiplomske studije i međunarodnu saradnju, doktorska disertacija, Beograd, 2016, pp 18-19.
- [15] Dejan Hadži-Milosavljević, Dušan Starčević, „Hadoop cloud tehnologije“, članak, info M, 2017, Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, pp 4-5.
- [16] Wei Tan, M. Brian Blake and Iman Saleh, Schahram Dustdar, „Social-Network-Sourced Big Data Analytics“, 2013, pp 64.

### Kratka biografija:

**Ana Petković** rođena je u Milićima 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnika i računarstva – Telekomunikacioni sistemi odbranila je 2021. god.  
Kontakt: ana.petkovic96@hotmail.com



**RAZVOJ I PRIMENA MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE KOD IZRADE TEMELJA I PODZEMNIH ETAZA OBJEKATA VISOKOGRADNJE****DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MECHANIZATION FOR GROUND WORKS IN CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS AND BUILDINGS**

Spasoje Kojović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu je razmatran put izbora građevinske mehanizacije za izvođenje zemljanih radova, kao i način rešavanja zaštite iskopa kod objekata visokogradnje nakon završenih zemljanih radova.

**Ključne reči:** zemljani radovi, građevinska mehanizacija, dijafragma, šipovi, iskop, obezbeđenje temeljnih jama

**Abstract** – The subject of this paper is selection of construction mechanization for groundworks, as well as the method of solving the way of protection of excavations at buildings after the completion of groundworks.

**Keywords:** groundworks, construction machines, diaphragm, piles, excavation, securing foundation pits

**1. UVOD**

Izgradnja građevinskih objekata danas podrazumeva primenu građevinske mehanizacije u svim sferama, za izvršenje različitih vrsta radova. Radovi u građevinarstvu se razlikuju i po obimu angažovane mehanizacije, pa oni radovi koji su u procesu izgradnje dominantni po obimu, impliciraju visok stepen mehanizovanosti i otvaraju problem izbora optimalne mehanizacije.

Sa aspekta predmeta ovog rada, akcenat će biti stavljen na visokogradnju i upotrebu, odnosno primenu mehanizacije kod izvođenja zemljanih radova vezanih za izradu temelja i podzemnih etaža. Većina radova kod ove vrste izgradnje vezana je za iskope, otkope i nasipe, ali ne isključuje se i prisustvo drugih zemljanih radova, u zavisnosti od uslova i vrste zemljanog materijala koji je predmet potrebe za delovanjem mehanizacije. Aktuelnost teme, naročito se može vezati za ekspanziju izgradnje objekata u urbanim sredinama, gde se nameću novi uslovi gradnje, brzi razvoj gradskih sredina, gde sama izgradnja višespratnica postaje sve komplikovanija.

**2. SPECIFIČNOSTI ZEMLJANIH RADOVA I OBLAST VISOKOGRADNJE**

Zemljani radovi predstavljaju grupu građevinskih radova na čijoj osnovi počivaju svi ostali radovi koji spadaju u jedan zaokruženi građevinski proces, drugim rečima izvode se bez obzira na predmet i vrstu izgradnje. Kao prva grupa radova prilikom gradnje nekog objekta, javljaju se zemljani radovi.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Milan Trivunić.

Tehnološka rešenja sprovođenja zemljanih radova kod svakog konkretnog objekta, predstavljaju nezaobilazne segmente koji se sprovode u okviru:

- istražnih,
- prethodnih i
- pripremni radova,

koji su neophodni da se sprovedu zbog svih radova koji posle slede. Kod tehnologije izvođenja građevinskih radova, naročito složenijih objekata poput objekata visokogradnje, veoma je važno obratiti pažnju na tlo gde se obavlja izgradnja objekta. Samo tlo gde se planira izgradnja građevinskog objekta, nije svuda i na svim lokacijama jednaka.

Na osnovu posebnih istraživanja, izvršena je kategorizacija tla u određene klase, odnosno grupe. Postoje u relevantnoj literaturi različita navođenja podela i vrsta tla. Pa tako, tlo se u odnosu na zemljane materijale, može podeliti na:

- stene (monolitna, trošna, raspucala);
- nevezani ili nekoherentni materijali (šljunak 4-60mm, pesak 0,4-6mm i dr.); i
- vezani ili koherentni materijali (prašina 0,002-0,06mm, glina manje od 0,0002mm i dr.)

**3. PRIMENA MEHANIZACIJE ZA ISKOP E KOD OBJEKATA VISOKOGRADNJE**

Prvi zemljani radovi prilikom iskopa temelja javljaju se radovi vezani za uklanjanje površinskog sloja tla, odnosno obavlja se uklanjanje humusa.

- Uklanjanje humusa, u savremenom građevinskom procesu, obavlja se odgovarajućom građevinskom mehanizacijom. Kao najčešće korišćena građevinska mehanizacija za uklanjanje humusa, koriste se dozeri.

- Nakon uklanjanja humusa, pristupa se iskopu, odnosno pripremi terena za buduće temelje objekta koji se gradi. U tehnologiji zemljanih radova, najčešće se spominju dve osnovne vrste iskopa: široki iskop (namenjen uglavnom za podrumске objekte, podzemne etaže), i uski iskopi koji se koriste za izgradnju temelja za zidove objekta. Iskopi se takođe mogu podeliti na:

- ✓ linijske iskope – podrazumevaju sve vrste kanala, rovova, trakastih temelja, tunela i drugo;
- ✓ površinske iskope – u ovu grupu spadaju svi iskopi koji su površinski veći od njene dubine;

- ✓ tačkasti iskopi – razne vrste šahtova i temelja samaca

U suštini, za većinu iskopa, utovara i transporta koriste se sledeće vrste građevinske mehanizacije: bageri, dozeri, grejderi, skreperi, utovarivači i različita transportna sredstva.

- Pored pripreme terena gde će se kopati iskopna jama, odnosno iskop za budući objekat, bitni radovi vezuju se i za tkzv. ugradnju materijala. U ovom slučaju misli se na radove vezane za transport, planiranje, razastiranje i zbijanje. I u ovom slučaju, veliku ulogu i procenat učešća u ovim radovima, zauzima građevinska mehanizacija. Dominantne poslove vezane za ovu vrstu radova obavljaju buldožeri i grejderi, mada su u primeni i utovarivači i skreperi, uz napomenu da se grejderi u visokogradnji više koriste kod skidanja humusa i za radove planiranja i razastiranja, a manje za potrebe iskopa temeljnih jama ili se koristi za iskope jama dubine do 4m.

- Zbijanje predstavlja završni deo ugradnje iskopanog materijala, i ujedno sa ovim postupkom se dolazi do poboljšanja karakteristika određenog tla. Primarni cilj ovih radova usmeren je ka postizanju boljih tehničkih svojstava tla povećanjem gustine materijala.

#### 4. ZAŠTITA I OBEZBEĐENJE ISKOPA

Pored svih pripremnih radova oko istraživanja tla na kome će se graditi budući objekat visokogradnje, odnosno gde će se kopati temeljne jame, veoma je bitno kod zemljanih radova koji se izvode, izvršiti zaštitu iskopa po pitanju uticaja vode i obezbediti iskop od mogućeg urušavanja, sleganja, kako bi konstrukcija bila prvenstveno bezbedna i sigurna za druge radove koji slede.

Kod ovih radnji, naročito je važno u početku ispitati tlo od mogućnosti prodiranja podzemnih voda.

##### 4.1. Zaštita iskopa od vode

Gradilište gde se planira izgradnja određenog objekta visokogradnje, mora da bude obezbeđeno svim potrebnim uslovima za radove koji će biti izvođeni. Jedan od važnih parametara, jeste da tlo gde se kopa temeljna jama, mora biti suvo. Drugim rečima, vlažnost tla mora biti u granicama dozvoljenog, koje stoji i predmet je proračuna u svakom projektu vezanom za gradnju. Iz tog razloga potrebno je osigurati dobru odvodnju i sistem zaštite od raznih oblika prodora vode.

Zaštita iskopa od vode usmerena je u tri pravca, i to:

- zaštita od spoljašnje atmosferske vode,
- zaštita od atmosferske vode koja direktno upada u iskop (direktna ili atmosferska voda) i
- zaštita od podzemnih voda (snižavanjem njenog nivoa)

Problem prisustva vode nije toliko veliki kada je kota vode ispod kote iskopa i u tom slučaju ne moraju da se izvode dodatni radovi. Problem nastaje kada je nivo podzemnih voda (NPV) iznad kote iskopa. Tada se moraju izvoditi dodatni građevinski radovi kojima se snižava nivo podzemnih voda i na taj način obezbeđuje suvo tlo za radove u iskopnoj, odnosno temeljnoj jami.

Snižavanje NPV obavlja se uz pomoć drenažnih sistema u koje spadaju:

- radovi na direktnom crpljenju vode,
- horizontalna drenaža na obodu iskopa (muljne pumpe),
- vertikalna drenaža pomoću iglo filtera, dubokih bunara i slično.

#### 4.2. Dijafragme

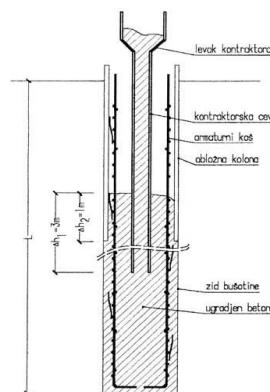
Prilikom gradnje konstrukcija sa podzemnim etažama ili dubokim temeljima, potrebno je izvršiti iskop tla veće dubine. Ukoliko nije moguće izvršiti široki iskop (iskop sa stranicama u nagibu pod uglom koji obezbeđuje stabilnost kosine), u slučaju blizine susednog objekta, npr., iskop se vrši vertikalno, uz izradu privremene ili stalne potporne (zaštitne) konstrukcije koja osigurava stabilnost stranice iskopa, odnosno sprečava obrušavanje tla u jama.

Armirano betonska dijafragma predstavlja konstrukciju u obliku zida koji se izvodi u tlu, duž granice budućeg iskopa temeljne jame. Iskop za dijafragmu se radi pomoću specijalnog bagera (obično bager grajfer), jama se ispunjava isplakom (suspenzija bentonitne gline u vodi) koja sprečava urušavanje iskopa. Nakon iskopa se u rov spušta atmaturni koš, a zatim vrši betoniranje pomoću kontraktorske cevi, od dna na gore. Debljina zida dijafragme je najčešće 60 ili 80cm.

*Dijafragme* su armirano betonski zidovi koji se po specijalnom postupku grade neposredno u terenu. Koriste se kao zaštita bočnih strana temeljne jame i/ili kao sastavni deo budućeg objekta. Mogu se koristiti i kao vodozaštitni elementi.

#### 4.3. Šipovi – zavesa šipova

Šipovi su vrsta temelja koja opterećenje od objekta prenose kroz površinske slojeve tla slabe nosivosti do dubljih slojeva tla dobre nosivosti. Time se otklanja mogućnost većeg sleganja objekta što doprinosi njegovoj statičkoj sigurnosti. Ako se šipovi izvode na samom terenu onda se to može izvesti postupkom utiskivanja u tlo bušenjem ili pobijanjem. U naseljenim područjima koriste se bušeni šipovi jer je buka pri ugrađivanju umerena.



Slika 1. – Betoniranje šipova

Betoniranje šipova obavlja se kontraktorskim postupkom. Vreme početka vezivanja betona ne sme biti kraće od 2 sata.

Betoniranje šipova obavlja se kontraktorskim postupkom (Slika 1). Početak betoniranja obavlja se spuštanjem kontraktorske cevi na visinu 20cm. od dna bušotine. Betoniranje šipa treba izvršiti bez prekida.

## 5. IZBOR NAČINA FUNDIRANJA

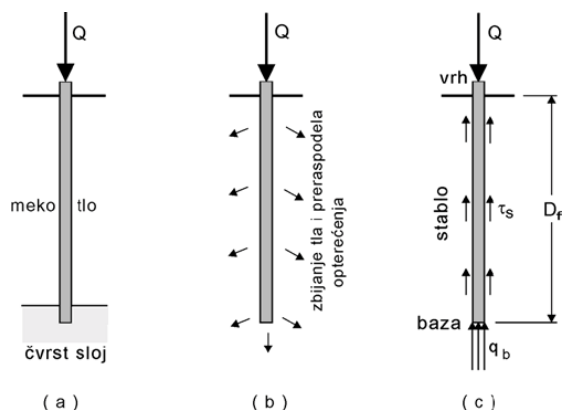
Izbor metode temeljenja, odnosno fundiranja, zavisi od mnogo bitnih činilaca, a do kojih se dolazi raznim istražnim radovima. Prvenstveno, nakon što se istraži tlo gde se predviđa izgradnja buduće građevine, donosi se odluka o načinu temeljenja, koje može biti plitko i duboko. Pored navedenih oblika izrade temelja, oni se mogu razlikovati i na osnovu sledećih parametara: po obliku poprečnog preseka, po materijalu od kojega su napravljeni, po načinu prenošenja opterećenja, po konstruktivnom sklopu i slično

### 5.1. Plitko fundirani temelji

Plitka fundiranja podrazumevaju takvu izradu temelja gde se u površini stope, prenose kose, centralne i ekscentrične sile. Osnovni uslov koji treba da se postigne jeste da dnostope bude ispod minimum od 80 cm, što predstavlja krajnju tačku smrzavanja. U retkim slučajevima može doći do odstupanja od ovog pravila, i to u slučajevima kada zgrade imaju privremeni karakter (pomoćne zgrade) ili kod temeljenja na stenskoj podlozi.

### 5.2. Duboko fundirani temelji

Kod zemljišta koje nije u stanju da neposredno prihvati opterećenja od zgrade (kako sopstvenu težinu tako i korisna opterećenja ali i seizmičke i druge uticaje) pribegava se specifičnim rešenjima. To su duboka fundiranja ili drugačije nazvana fundiranja na šipovima. Suštinski, ovi veoma zahtevni konstruktivni i izvođački načini temeljenja zasnovani su na principu prenošenja opterećenja na stabilno tlo koje se pronalazi na velikoj dubini u odnosu na uobičajene dubine fundiranja.



Slika 2. Primena šipa i prenošenje vertikalnog opterećenja

Dubokim temeljima se opterećenje prenosi na izvesnu dubinu ispod korisnog dela građevinske konstrukcije. Osnovna ideja primene šipova prikazana je na Slici 2, kada se u površinskoj zoni nalazi sloj meke gline a na većoj dubini postoji mogućnost prenošenja opterećenja na tlo veće nosivosti (Slika 2.-a), ili se pobijanjem šipa postiže prenošenje opterećenja na veću masu tla uz

eventualno povećanje njegove zbijenosti (Slika 2.-b). U opštem slučaju, vertikalno opterećenje  $Q$  koje deluje na vrh, (gornji kraj), šipa (Slika 2.-c) prenosi se preko smičućih napona  $\tau_s$  na kontaktu između stabla šipa i tla i vertikalnih komponenti normalnih napona  $q_b$  koji deluju na bazu šipa.

Pomoću šipova vrši se posredovanje između zgrade i stabilnog tla. Prema vrsti šipova razlikujemo tri slučaja:

- ✓ Fundiranje na stojećim šipovima- princip prenošenja opterećenja na nosive slojeve tla koji leže dublje.
- ✓ Fundiranje na plivajućim (lebdećim) šipovima – opterećenje se ne prenosi neposredno na nosivo tlo, već na slojeve koji mogu da se sabiju.
- ✓ Fundiranje na tonućim bunarima

## 6. NAČIN I PRIKAZ IZBORA ODGOVARAJUĆE MEHANIZACIJE NA OSNOVU KRITERIJUMA

Kako se izvođenje zemljanih radova danas ne može zamisliti bez upotrebe građevinske mehanizacije, mašine koje su planirane za ovu grupu radova treba da budu optimalno izabrane i usklađene za konkretan zadatak koji obavljaju. Zato je bitno detaljno proučiti:

- mogućnosti primene pojedinih mašina za izvršenje radova na određenom gradilištu (izabrana tehnologija građenja, prostor, komunikacije, uslovi rada na gradilištu,...),
- karakteristike pojedinih mašina (gabarit, teorijski učinak, brzina rada, zahtevi za podlogom i sl.), koje su date tehničkom specifikacijom ili prospektom proizvođača.

Postupak izboragrađevinske mehanizacije za zemljane radove biće prikazan u tri faze odlučivanja:

- I faza odlučivanja: širi izbor mehanizacije,
- II faza odlučivanja: užu izbor mehanizacije i
- III faza odlučivanja: izbor mehanizacije metodom višekriterijumske optimizacije.

### 6.1. I faza odlučivanja – širi izbor mehanizacije

Pri širem izboru mehanizacije potrebno je definisati zadatke građevinske mehanizacije, raščlaniti tehnološki proces na pojedine radne operacije, sagledati raspoložive mašine, proučiti uslove koje mašina treba da ispuni, izvršiti izbor mašina koje odgovaraju usvojenoj tehnologiji i odabrati mašinu koja može izvršiti zadatak operaciju.

### 6.2 II faza odlučivanja – užu izbor mehanizacije

Užu izbor mehanizacije ima zadatak da od mogućih mašina ukaže na one koje pružaju najveću ekonomsku prednost, tj. najveće mogućnosti uz najniže troškove. Da bi se izvršio užu izbor mehanizacije potrebno je za svakumašinu izračunati praktični učinak i cenu časa rada pojedinih mašina.

Praktični učinak je stvarni učinak građevinske mašine na određenom gradilištu i pod određenim uslovima eksploatacije. Teorijski učinak je učinak građevinske mašine koji se može ostvariti pod optimalnim uslovima eksploatacije.

Opšta formula za sračunavanje praktičnog učinka je:

$$U_p = U_t k_p k_v k_r \dots k_n \quad (1)$$

gde su:

- $U_p$  - praktični učinak,
- $U_t$  - teorijski učinak,
- $k$  ( $k_p, k_v, k_r, \dots, k_n$ ) - koeficijenti korekcije.

Cena časa rada građevinske mehanizacije je jedan od presudnih elemenata za izbor mašina za izvršenje pojedinih radova.

Cena časa rada građevinske mašine obuhvata:

- troškove osnovnog sredstva,
- eksploatacione troškove,
- troškove režije i dobiti.

### 6.3. III faza odlučivanja–višekriterijska optimizacija

Višekriterijumska optimizacija je postupak koji na osnovu usvojenih kriterijuma određuje najbolje rešenje određenog problema. U svakom slučaju potrebno je izvršiti izbor mašina koje obavljaju određene operacije za izvođenje zemljanih radova. Veliki broj različitih mašina koje se mogu iskoristiti za ove radove, kao i zahtevi koje te mašine moraju ispuniti, otvaraju problem izbora najpovoljnijeg tipa mašine. Ukoliko se problem izbora posmatra za veći broj mogućih rešenja, a analiza obuhvata različite aspekte vrednovanja, on spada u problem višekriterijumske optimizacije. Rešavanje ovog problema podrazumeva uključivanje adekvatne metode višekriterijumske optimizacije.

## 7. ZAKLJUČAK

Izgradnja nekog objekta započinje odabirom lokacije na kojoj će se zidati budući objekat. Veoma bitne aktivnosti vezane za sam objekat, jesu istražni i prethodni radovi, gde je akcenat na ispitivanju tla na kome će se izgraditi neki objekat. Navedene aktivnosti predstavljaju predmet istraživanja koji prethodi pristupanju zemljanim radovima. Ovi radovi u sebi sadrže potrebne aktivnosti koje su neophodne da bi kvalitet izvođenja ove grupe radova bio na visokom nivou. Kao najznačajnija vrsta radova u vezi zemljanih radova, jesu iskopi, odnosno priprema tla gde će se graditi temelj nekog objekta, koji pripada u ovom slučaju oblasti visokogradnje.

Veoma bitna karakteristika u vezi sa iskopom jeste karakteristika tla koje se iskopava, ali i na osnovu kojeg se vrše sve ostale potrebne radnje, kako bi iskopna jama bila adekvatno pripremljena za dalje radove, odnosno da bi bila bezbedna i sigurna. Veliku ulogu u zemljanim radovima uopšteno ima građevinska mehanizacija, bez koje je danas nezamislivo pristupiti izgradnji bilo kog objekta, naročito u oblasti visokogradnje. Širok spektar mehanizacije omogućava da se na efikasan i projektovan način obave svi pripremni radovi, radovi na ugradnji materijala, radovi u vezi sa iskopom, kao i obezbeđenja iskopnih jama.

Obezbeđenje iskopa diktiraju parametri koji se tiču isključivo uslova u kojima se radovi izvode. Blizina susjednih objekata je bitan faktor koji utice na način obezbeđenja temeljnih jama, zbog kojih se pribegava privremenoj ili trajnoj zastitnoj konstrukciji koja obezbeđuje sigurnost stranica iskopa. Pored toga bitno za napomenuti jeste dubina podzemnih etaža dovodi do izbora tipa obezbeđenja iskopa. Potporne konstrukcije ukoliko se radi o AB elementima (dijafragme ili šipovi) mogu da predstavljaju vertikalne oslonce prilikom izgradnje međuspratnih konstrukcija.

Kroz analizu relevantnih aspekata vezanih za poslove u vezi iskopa temelja, koji podrazumevaju niz vezanih vrsta radova (otklanjanje humusa, iskop, razastiranje, planiranje, zbijanje), kao i veoma značajnih faktora koji utiču na stabilnost iskopne jame, poput nivoa podzemnih voda i obezbeđenja temeljne jame od odrona i urušavanja iskopanog materijala, može se zaključiti da je bez primene mnogobrojne građevinske mehanizacije, kao i tehnoloških rešenja koje se nude prilikom ove grupe poslova na gradilištu, nemoguće bilo sagraditi stabilan i siguran objekat, koji teži određenoj višegodišnjoj nameni.

Izvođenje građevinskih radova zahteva brzo donošenje odluka i smanjenje rizika donošenja ispravnih odluka. U tom cilju primenjujemo korišćene metode analize i sinteze pri odabiru mogućih varijantnih rešenja i metoda višekriterijumske optimizacije pri izboru optimalnih mašina za izvršenje zemljanih radova. Primenom ovih metoda dobijaju se brzo kvalitetne informacije koje povoljno utiču na tok i kvalitet izgradnje objekta.

## 5. LITERATURA

- [1] Ćirović G., Mitrović S.: „Tehnologija građenja“, *Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2007.*
- [2] Trivunić, M., Matijević, Z.: „Tehnologija i organizacija građenja“, praktikum, *Univerzitet u Novom Sadu, FTN, 2009.*
- [3] Opricović, S.: „Optimizacija sistema“, *Građevinski fakultet, Beograd, 1992.*

### Kratka biografija:



**Spasoje Kojović** rođen je u Trebinju 1989. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Gradjevinarstva –Tehnologija i organizacija građenja odbranio je 2021. kontakt: skojovic@live.com



**UPOREDNA ANALIZA ZGRADA SA SEIZMIČKIM ZIDOVIMA U JEDNOM I U DVA PRAVCA****COMPARATIVE ANALYSIS OF BUILDINGS WITH SHEAR WALLS IN ONE AND TWO DIRECTIONS**

Ranko Pajić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

**Oblast – GEODEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Prema projektnom zadatku, predviđeno su dva sistema i njihovo poređenje zajedno sa sistemom bez zidova za ukrućenje, koji je obrađen na diplomskom studijama. Spratnost objekata je podrum+prizemlje+4 sprata. Ukupno, tri različita statička sistema sa identičnom geometrijom. Prvi objekat (model III), urađen na diplomskim studijama je bez zidova za prijem horizontalnih sila, drugi objekat (model I) sadrži seizmička platna samo u Y pravcu i zbog toga su u tom pravcu grede izostale, treći objekat (model II) u oba svoja pravca ima seizmička platna, tako da su grede u potpunosti uklonjene iz konstrukcije, i seizmička sila se prihvata platinama.

**Ključne reči:** Višespratna armiranobetonska zgrada, Evrokodovi, ramovski skeletni sistem, seizmički zidovi, plan armiranja

**Abstract** – The project task is to build two static systems and compare them together with the system without shear walls, which was processed in bachelors thesis. The number of floors of the building is basement + ground floor + 4 floors. In total, three different static systems with identical geometry. The first object (model III), made in bachelors thesis is without shear walls for receiving horizontal forces, the second object (model I) contains shear walls only in the Y direction and beams are missing in that direction, the third object (model II) in both direction have shear walls so that the beams are completely removed from the structure, and the seismic force is accepted by the shear walls.

**Keywords:** Multi storey RC building, Eurocodes, RC frame, shear walls, structural design, reinforcement plans,

**1. UVOD**

Prema propisima koje daje Evrokod 8, armiranobetonske višespratne objekte možemo podeliti na sledeće sisteme: okvirni, dvojni, duktilni, lako-armiranih zidova, obrnutog klatna, i torziono fleksibilni.

U ovom primeru je obrađen objekat koji ima dva ortogonalna pravca, i u oba pravca može da ima različite konstruktivne sisteme. Kao krajnje slučajeve imamo okvirne sisteme, koji više od 65% ukupne bazne sile prihvata okvirima koje čine grede i stubovi, i zidne sisteme, gde više od 65% ukupne bazne sile prihvataju zidovi.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Ladinović, red. prof.

Projektnim zadatkom je predviđeno da se analiziraju dva modela sa kombinacijom krajnjih slučajeva konstruktivnih sistema, i kao takvi, uporede sa sistemom koji je detaljno obrađen na diplomskim studijama.

Naime, model III je objekat ranije obrađen i on je u oba pravca ramovskog konstruktivnog sistema.

Model I poseduje seizmičke zidove za prijem horizontalnog opterećenja (seizmička platna) u Y pravcu, dok su se grede zadržale u X pravcu, tako je model I u X pravcu ramovskog, a u Y pravcu zidnog konstruktivnog sistema.

Model II u oba svoja pravca ima seizmičke zidove, te je tako u oba pravca klasifikovan u zidne konstruktivne sisteme.

Prilikom rasporeda zidova u konstrukciji, vodilo se računa o poklapanju centra masa i centra krutosti, kako bi se izbegla torzija konstrukcije. Sva tri objekta imaju iste dimenzije u osnovi, istu spratnost, pojedine dimenzije elemenata su redukovane, ali ne značajno.

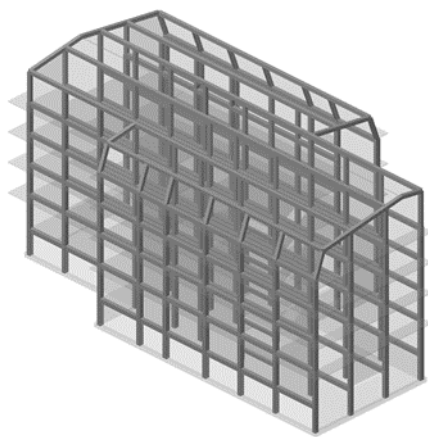
Cilj ovog istraživanja jeste poređenje sva tri moguća (realna) sistema, u pogledu realizacije i distribucije statičkih uticaja, pomeranja konstrukcija, oscilovanja i potrošenoj količini materijala, kako bi se moglo odrediti koji najoptimalniji sistem za izvođenje. Naravno, sve konstrukcije su obrađene prema uputstvima i preporukama Evrokod standarda.

**2. ANALIZA KONSTRUKCIJE****2.1. Osnovni podaci o objektu**

Osnova je sačinjena od dva smaknuta pravougaonika dimenzija 28,80m x 18,60m i 29,40m x 14,40m. Kota ulaska u zgradu i loklake je 1,00m iznad kote teren. Kota podruma je 2,00m ispod kote terena, a 3,00m ispod kote prizemlja.

Spratna visina prizemlja je 3,90m, spratovi su tipski i njihova spratna visina je 3,40m. Lokacija objekta je Novi Sad. Prizemlje objekta se koristi kao prostor za radnje i prodavnice, dok su ostali spratovi namenjeni za stambene jedinice. Zgrada je male spratnosti i iz tog razloga, a u cilju uštede sredstava izvođenja, je izostavljena vertikalna komunikacija liftom.

Vertikalna komunikacija obavlja se samo stepeništem. Stepenište je dvokrako sa međupodestom. Na slici 1 prikazana je konstrukcije modela I, i svi modeli su obrađeni i proračunati u softveru za strukturnu analizu Tower 8.2.



Slika 1. 3D model konstrukcije

## 2.2. Elementi konstruktivnog sistema

Detaljne dimenzije elemenata po modelima su date tabelom 1.

Tabela 1. Dimenzije elemenata

| Elementi                      | Dimenzije [cm] | Model III | Model I | Model II |
|-------------------------------|----------------|-----------|---------|----------|
| Greda                         | 30/40          |           |         | +        |
|                               | 40/40          | +         | +       |          |
|                               | 50/50          | +         | +       |          |
|                               | 40/60          | +         | +       |          |
| Stubovi                       | 40/40          | +         | +       | +        |
|                               | 40/50          | +         | +       | +        |
|                               | 50/50          | +         | +       | +        |
| Platna                        | 20             |           | +       | +        |
| Zid podruma                   | 30             | +         | +       | +        |
| Temeljna ploča                | 55             | +         | +       | +        |
| Ploča prizemlja               |                | 18        | 18      | 20       |
| Ploče spratova I, II, III, IV |                | 15        | 15      | 20       |
| Krovne ploče                  | 15             | +         | +       | +        |
| Ploče podesta i stepeništa    | 15             | +         | +       | +        |

Ploče su pune armiranobetonske, uključujući i temeljnu ploču. Svi armiranobetonski elementi su klase betona C35/45 (modula elastičnosti  $E=33,5$  GPa, i Poasonovog koeficijenta  $\nu=0,2$ ). Fundiranje objekta je izvršeno na temeljnoj ploči koja je zadržala svoju dimenziju kroz sva tri modela bez potrebe za ojačanjem u vidu kontrafora. Sva tri modela imaju po obodu podruma armiranobetonske zidove koji formiraju „kadu“. Kako bi se izvršilo prosvetljavanje hodnika u unutrašnjosti zgrade, predviđene su dve galerije, što je zahtevalo izvođenje dva otvora po svakoj etaži zgrade, odnosno, otvori se nalaze na svim pločama osim na temeljnoj ploči.

## 2.3. Analiza opterećenja

Sopstvena težina je automatski generisana softverom prilikom unosa dimenzija elemenata, dok je za premiska težina armiranog betona usvojena  $25 \text{ kN/m}^3$ . Pored sopstvene težine elemenata, u ovu grupu spadaju težine nekonstruktivnih elemenata, nepokretne opreme i težina tla. U nepokretnu opremu svrstavamo opremu za grejanje i rashlađivanje objekata, nameštaj u stanovima, elektro instalacije... Nekonstruktivni elementi su težina obloga zidova i plafona, fasade i elemenata na krovnoj ploči. Takođe, uzet je u obzir i zid koji se nalazi oko kade konstrukcije, koji ima ulogu obezbeđivanja hidroizolacije podruma i oslanja se na kratki prepust temeljne ploče. Pobrojana stalna opterećenja se još nazivaju i gravitaciona.

Korisna opterećenja su definisana u Evrokod 1 standardu, a u zavisnosti od namene objekta (prostorijske) svrstavaju se u određenu kategoriju. U ovom primeru imamo tri kategorije korisnog opterećenja. Kategorija A, namenjena je za prostorije u stambenim zgradama, iznosi  $1,5 \text{ kN/m}^2$  za stambene prostorije, u hodnicima i na balkonima je  $2,5 \text{ kN/m}^2$ . Kategorija D1 je namenjena za prodajne površine u maloprodajnim radnjama (prizemlje) i iznosi  $4 \text{ kN/m}^2$ . Kategorija H je namenjena za krovove koji se ne koriste, osim za uobičajene popravke i održavanja, i iznosi  $1 \text{ kN/m}^2$ .

Opterećenje snegom je takođe sprovedeno prema propisima Evrokod standarda, i dobijena vrednost od  $0,8 \text{ kN/m}^2$ , je naneta na krovne površine dok je na terasama uzeta vrednost od  $1 \text{ kN/m}^2$ .

Dejstvo vetra je sračunato prema EN 1991-1-4 za fundamentalnu brzinu od  $24 \text{ m/s}$  za područje Novog Sada. Dobijeno opterećenje naneto je na linijske elemente kao linijsko a na površinske kao površinsko opterećenje.

Seizmičko opterećenje je proračunato za ubrzanje tla od:

$$a_{gR} = 0,15 \cdot g = 0,15 \cdot 9,81 = 1,4715 \text{ m/s}^2$$

Objekti koji se analiziraju spadaju u II klasu značaja (obične zgrade) za koje je faktor  $\gamma_1=1$ :

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_1 = 1,4715 \cdot 1 = 1,4715 \text{ m/s}^2$$

Za tip elastičnog spektra odgovora je uzet tip 1, koji odgovara zemljotresu magnitude od oko 7. Usvojen je C tip kategorije tla.

## 2.2. Modeliranje konstrukcije

Za proračun uticaja u konstrukcijama višespratnih zgrada, danas se uobičajeno koriste specijalizovani softveri za strukturalnu analizu bazirani na metodi konačnih elemenata. Takvim softverima je moguće prostorno modeliranje konstrukcije linijskim i površinskim elementima.

Prostorno modeliranje dovodi do realnijih matematičkih sagledavanja konstrukcija, a samim tim se obezbeđuju rezultati koji su bliski onim stvarnim u konstrukciji. Grede i stubovi se modeliraju kao linijski elementi, dok se ploče, ljuske i zidovi modeliraju kao površinski elementi. Mana ovakvog projektovanja je ta što se površine i momenti inercije ne menjaju tokom dejstva opterećenja. Time je načinjena gruba greška, ali u fazi određivanja statičkih uticaja, ovo nije od velike važnosti.

Ovo je bitno u procesu dimenzionisanja i usvajanja armature, te se takve greške popravljaju usvajanjem određenih množioca. Kompletna konstrukcija je izrađena od betona klase C35/45 i armature B500B.

Oslanjajući se na deformabilnu podlogu (što je i realno stanje) AB konstrukcija ne može biti obrađena kao nepokretno oslonjena. Interakcija konstrukcija-tlo može biti od manjeg ili većeg značaja ali nikako zanemarena. Zbog svoje jednostavnosti u smislu obuhvatanja te interakcije, koristi se Winkler-ov jednodimetarski model tla.

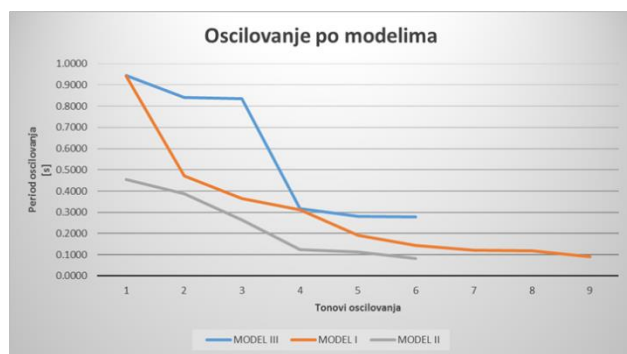
U ovakvom pristupu, tlo se tretira kao elastična podloga i zasniva se na proporcionalnosti između pritiska i sleganja u svakom konačnom elementu. Koeficijent posteljice ili modul reakcije tla nije fizička veličina, već količnik površinskog opterećenja i sleganja. Određuje se pomoću u ispitivanja opitnom pločom. Koeficijent posteljice je

podatak koji je usvojen slobodnom procenom i usvojen je u pravcu oslanjanja  $15000 \text{ kN/m}^3$ , dok je u ostalim pravcima duplo manji, kako se tlo i realno ponaša.

Torziona krutost grede opada brzo sa formiranje torzionih prslina. Gubitkom torzione krutosti elementom se ne mogu prihvatiti momenti torzije koji bi odgovarali homogenom preseku. Oni moraju biti preraspodeljeni susednim elementima, gredama upravnog pravca pružanja.

Druga posledica jeste povećanje deformabilnosti konstrukcije. U praksi je uobičajeno da se torziona krutost greda redukuje na vrlo mali deo krutosti homogenog preseka, na  $1/10$  ili čak  $1/20$  (redukovana je na 10%). Dok je savojna krutost greda redukovana za 50%. Stubovi, kao dominantno pritisnuti elementi imaju sposobnost zatvaranja pojavljenih prslina, te se iz tog razloga njihova torziona krutost, umesto na 10% kao kod greda, redukuje na 50%, dok je savojna ista kao i kod greda, redukovana na 50%.

### 2.3. Modalna analiza



Slika 2. Periodi oscilovanja po modelima i tonovima

Nakon svega analiziranog, izmodelirane konstrukcije, nanetog opterećenja, urađena je modalna analiza konstrukcije koja je uvod za definisanje seizmičkog opterećenja, jer sa ovom analizom dolazimo do perioda oscilovanja konstrukcije. Na slici 2 su prikazani kroz grafik tonovi oscilovanja po modelima.

Radi lakšeg shvatanja podataka prikazani dijagrami na slikama 3 i 4 daju podatke o angažovanju masa po tonovima, modelima i pravcima objekta.

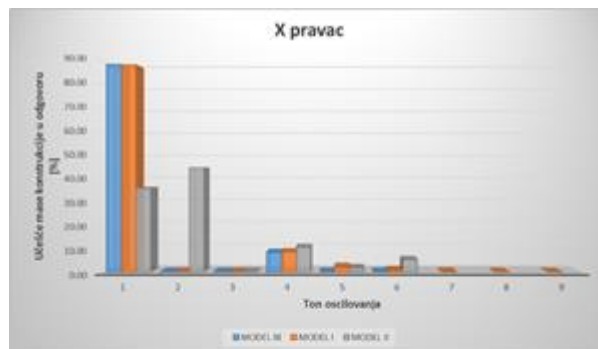
Učešće perioda u generisanju ukupnih seizmičkih sila za vreme trajanja zemljotresa zavisi od efektivne modalne mase za taj period, posmatranog svojstvenog oblika i stvarnog rasporeda masa po visini objekta.

Prilikom odabira broja analiziranih tonova, potrebno je voditi računa o tome da je zbir modalnih masa veći od 90% ukupne mase konstrukcije i obuhvatiti sve tonovi sa efektivnim modalnim masama koje su veće od 5% od ukupne mase.

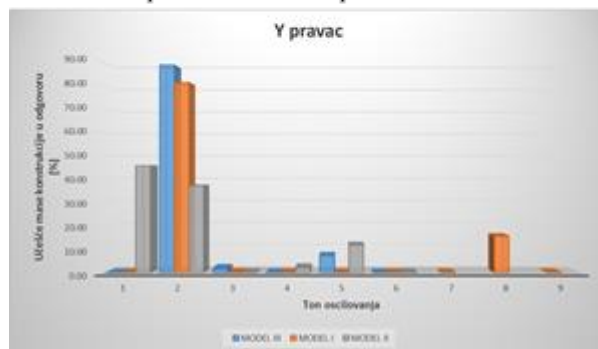
Na spektru ubrzanja očitavamo odgovarajuću vrednost ubrzanja u zavisnosti od perioda, tu vrednost množimo sa pripadajućom efektivnom modalnom masom i dobijamo ukupnu seizmičku silu za odgovarajući period.

Ukupna seizmička sila računa se za svaki period i raspoređuje se po visini objekta.

Time smo predstavili seizmičko opterećenje kao odgovarajuće statičko i dalje možemo da određujemo statičke uticaje u konstrukciji.



Slika 3. Angažovanost mase konstr. po tonovima za X pravac

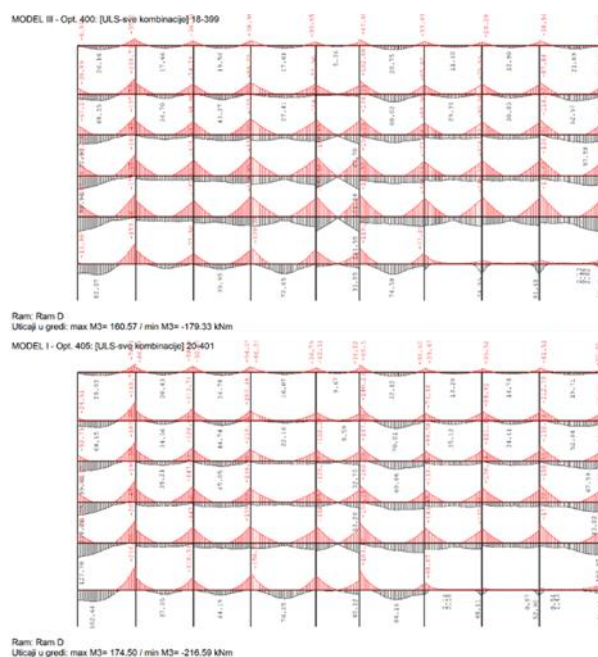


Slika 4. Angažovanost mase konstr. po tonovima za Y pravac

## 3. STATIČKI PRORAČUN, DIMENZIONISANJE I UPOREDNA ANALIZA

Kod poređenja modela, akcenat se daje na poređenje momenata savijanja, jer je postojanje zidova u konstrukciji upravo sa idejom smanjenja momenata u gredama i stubovima.

### 3.1. Grede



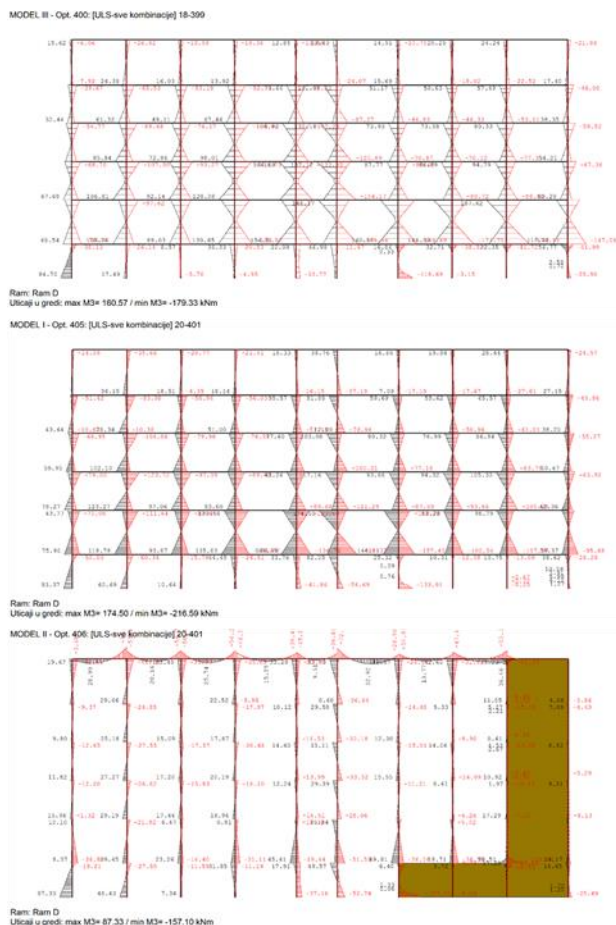
Slika 5. Ram D i momenti savijanja greda modela III i I

Slika 5 prikazuje jedino moguće poređenje greda X pravca modela III i I, jer se samo u tim modelima i u tom pravcima nalaze grede.



U modelu III prvo je uočljivo to da su grede bile znatno angažovanije u svojoj donjoj zoni, dok se to menja uvođenjem zidova u Y pravcu kod modela I. Oba modela imaju jednake konturne uslove na krajevima greda i grede su jednakih dimenzija. Napomenimo da ne postoje zidovi za prijem horizontalnih sila u pravcu u kom se nalazi ram D kod modela I. Angažovanje donje zone kod greda, a i generalno angažovanje greda u obe zone su smanjili seizmički zidovi koji postoje upravno na pravac rama D. Njihova uloga jeste prihvat horizontalnog opterećenja u Y pravcu, ali neminovno je to da će prihvatiti deo opterećenja i u X pravcu. Ne veliki, i ne toliki da se možemo na njih osloniti u vezi sa prijemom u X pravcu, ali će primiti i umanjiti momente u gredama X pravca.

### 3.2. Stubovi



Slika 6. Ram D i momenti savijanja stubova modela III, I i II

Na slici 6, uočavamo da su momenti u modelu III manji u odnosu na momente u modelu I, i kao objašnjenje se nameće da je došlo do preraspodele momenta u čvorovima sa gredama iz suprotnog pravca kod modela III, dok grede u suprotnom pravcu modela I ne postoje. Kod modela I i II, uočava se pad vrednosti momenata savijanja, model I ima veće vrednosti. Stubovi modela II u oba rama su opterećeni samo gravitacionim opterećenjem. Što se tiče uklještenja stubova u temeljnu ploču, momenti su približno jednaki na sva tri modela.

### 3.3. Ploče i zidovi

Kod ovih elemenata se ništa značajno od očekivanog nije desilo, osim što su ploče zbog probijanja morale biti deblje u modelu II.

### 3.4. Materijal

Model III zahteva 5537.59t, model I 5126.52t, model II 5365.16t betona.

Model III zahteva 68770.1t, model I 63864.27t, model II 51536.54t armature.

Ovi podaci su dobijeni iz okvirnog predmera softvera, i ne treba ih shvatati kao definitivno tačne.

### 3.5. Spratno pomeranje

Spratno pomeranje modela je prikazano tabelom 2:

Tabela 2. Spratno pomeranje

| Etaža     | Spratno pomeranje [mm] |       |         |     |          |     |
|-----------|------------------------|-------|---------|-----|----------|-----|
|           | MODEL III              |       | MODEL I |     | MODEL II |     |
|           | X                      | Y     | X       | Y   | X        | Y   |
| Krov      | 6.42                   | 5.34  | 15%     | 27% | 15%      | 23% |
| IV sprat  | 11.35                  | 9.29  | 1%      | 16% | 60%      | 47% |
| III sprat | 17.19                  | 13.94 | 1%      | 45% | 73%      | 65% |
| II sprat  | 21.55                  | 17.73 | 1%      | 61% | 79%      | 74% |
| I sprat   | 23.51                  | 23.36 | 1%      | 75% | 83%      | 81% |
| Prizemlje | 0.54                   | 1.55  | 39%     | 7%  | 48%      | 36% |

Obratimo pažnju na I sprat, koji je u sva tri modela imao najveća pomeranja, u tabeli poredimo pomeranja modela I i II u odnosu na model III. U modelu I smo uveli platna samo u Y pravcu, i vidmo da su pomeranja ista u X pravcu i manja za 75% u Y pravcu. Već u modelu I, uvođenjem zida u jednom pravcu se vidi veliki značaj zida. U modelu II, sa zidovima u oba pravca, pomeranja su manja za 82% u oba pravca.

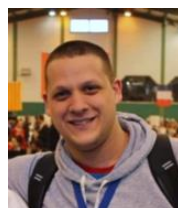
## 4. ZAKLJUČAK

U ovom primeru su analizirani krajnji slučajevi, sa platnima i bez greda ili sa gredama i bez platna u jednom od pravca. Konstrukcija se ponaša daleko bolje ako poseduje seizmičke zidove, i iz tog razloga se ovde daje prednost konstrukciji sa zidovima u oba pravca. Međutim, ako poredimo model I i model II, ja bih prednost dao modelu II, jer zahteva manje armature, manje materijala i nešto deblje ploče zbog probijanja. Idealno rešenje je kombinovanje greda i zidova u jednom pravcu, jer smo se time osigurali od probijanja ili efekta „slaganja“ tavanaci kada se desi probijanje ploče. Takođe, grede doprinose krutosti po spratovima, zidovi će biti manje debljine, ali će se ta razlika nadomestiti nešto većim poslovima oko postavljanja oplate za grede. Iz tog razloga, moja procena je da je model I najoptimalniji model u ovoj analizi [1].

## 5. LITERATURA

[1] Ranko Pajić, „Uporedna analiza zgrada sa seizmičkim zidovima u jednom i u dva pravca – Master rad“, Novi Sad 2021.

### Kratka biografija:



**Ranko Pajić**, rođen je u Novom Sadu 1993. godine. Master rad na fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva odbranio je 2021. godine.



**PROCENA STANJA I SANACIJA NOSEĆE AB KONSTRUKCIJE ZGRADE  
RADNIČKOG UNIVERZITETA U NOVOM SADU OD II DO VII SPRATA****ASSESSMENT AND REPAIR OF BEARING RC STRUCTURE OF "RADNIČKI  
UNIVERZITET" BUILDING IN NOVI SAD FROM THE 2<sup>nd</sup> TO THE 7<sup>th</sup> FLOOR***Savo Starović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – Građevinarstvo**

**Kratak sadržaj** – Rad se sastoji iz teorijskog i praktičnog dela. U teorijskom dijelu opisano je dejstvo požara na visoke objekte. U praktičnom delu je urađena procena stanja zgrade Radničkog Univerziteta u Novom Sadu. Kako bi se utvrdio stepen oštećenja i dao prijedlog sanacionih radova, sproveden je detaljan vizuelni pregled svih dostupnih elemenata konstrukcije. Zaključeno je da na AB elementima postoje brojni defekti i oštećenja. Na osnovu analize registrovanih defekata i oštećenja i rezultata nedestruktivnih metoda dat je predlog sanacionih mjera u cilju povećanja trajnosti AB konstrukcije.

**Ključne reči:** procena stanja, defekti, oštećenja, sanacija, dejstvo požara na visoke objekte

**Abstract** – The paper consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part deals with the effects of fire on high-rise buildings. The assessment of multi-storey "Radnički univerzitet" building, located in Novi Sad, was carried out in the practical part. In order to determine the level and cause of damages, as well as the type of repairing measures, the detail visual inspection of structural elements was undertaken. The large number of defects and damages has been detected. Based on the analysis of those damages and defects and nondestructive material testing, the repair measures were suggested in order to improve the durability of RC structures.

**Keywords:** assessment, defects, damages, repair, fire effects on high-rise buildings

**1. DEJSTVO POŽARA NA VISOKE OBJEKTE****1.1. Inženjerstvo zaštite od požara**

Bezbjednost zgrada od požara zavisi od mnogo faktora i zahtjeva sveobuhvatan pristup i istovremenu implementaciju prevencije i konstrukcionih mjera, uzimajući u obzir performanse materijala i sistemska rješenja za zgradu i njen omotač. U tom smislu, potrebno je da građevinski materijali i proizvodi budu izabrani, ugrađeni i održavani odgovorno i u skladu sa zakonskom regulativom. Savremene građevine moraju da budu održive, a u pogledu bezbjednosti od požara to znači da moramo graditi zgrade otporne na požar.

**NAPOMENA:**

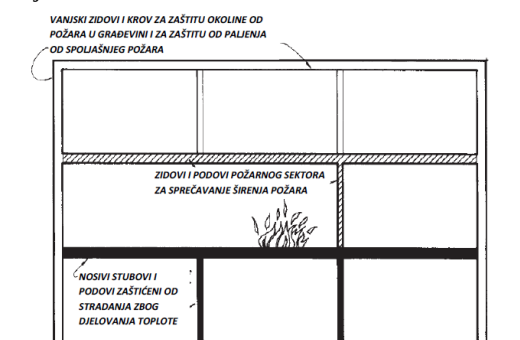
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

Samo zgrade koje mogu da se odupru požaru, adaptiraju i oporave od požara i povrate svoje osnovne funkcije u vremenski optimalnom roku i na efikasan način, mogu da doprinesu održivoj budućnosti urbanih prostora [1]. Prilikom projektovanja i građenja objekta mora se osigurati i zaštita od požara koja treba biti integrisana u proces projektovanja od samog početka. Budući da se vrlo često nastanak požara vezuje za neispunjenost adekvatnih preventivnih mjera, kroz planiranje, projektovanje i izgradnju važno je da svi uključeni u projektovanje zgrade - arhitekte, inženjeri, dizajneri enterijera, budu svjesni pitanja bezbjednosti od požara u svakoj fazi procesa.

U slučaju požara, dobar proračun građevine i njeno održavanje su od ključnog značaja u omogućavanju bezbjedne evakuacije ljudi, ali i ograničavanju širenja požara na minimalnu moguću mjeru, te osiguranju bezbjednog pristupa gasiocima i spasiocima. Najbolja rješenja uzimaju u obzir specifični dizajn svake građevine te način na koji je njeni stanari koriste, kombinujući pri tome aktivne i pasivne mjere, u holističkom pristupu.

**1.2. Pasivne mjere zaštite od požara**

Pasivna zaštita objekata od požara obuhvata mjere zaštite od požara koje se odnose na konstrukciju i omotač građevine, te njenu podjelu na požarne sektore. Pasivne mjere zaštite mogu se posmatrati kroz: strukturnu zaštitu (zaštita elemenata noseće konstrukcije od uticaja toplote), podjelu zgrade na požarne sektore (podučja otporna na vatru i dim) i zaštitu koju pruža omotač zgrade (okolni zidovi i krov) - Slika 1. Požarni zidovi su jedno od najefikasnijih rješenja za zaštitu objekta od požara jer sprečavaju širenje vatre i dima unutar jednog objekta (ili požarnog sektora), između različitih objekata, ali i objekta i zapaljivih materijala koji mogu biti u njegovoj blizini ili postavljeni na fasadu [2].



Slika 1 – Pasivna zaštita objekata od požara

## 1.2. Aktivne mjere zaštite od požara

Aktivna zaštita od požara odnosi se na kontrolu požara djelovanjem neke osobe ili automatskog uređaja. Sprovođenje aktivnih mjera podrazumijeva ugradnju i održavanje uređaja za detekciju požara i alarmiranje, sistema za kontrolu dima i vatre, ugradnju stacionarnih sistema za zaštitu od požara, kontrolu opasnih sadržaja i instalisanje sistema (centrale) za upravljanje zaštitom od požara [2] - Slika 2.



Slika 2 – Sistemi aktivne zaštite od požara

## 3. PROCJENA STANJA OBJEKTA

### 3.1. Opis konstrukcije

Zgrada "Novosadskog Radničkog univerziteta" nalazi se u ulici Vojvodanskih brigada broj 7. u Novom Sadu, projektovana je 1962. godine, a gradnja objekta je završena 1966. godine. Objekat se sastoji iz suterena, prizemlja, međusprata i 13 spratova. Dana 06.04.2000. godine, zgrada je zahvaćena požarom. Požar je izbio na XII spratu i vrlo brzo je zahvatio poslednjih 6 spratova zgrade (VIII - XIII sprat). Usled požara koji je trajao oko 6 sati i koji je uglavnom gašen vodom, oštećena je noseća konstrukcija objekta i delimično ili potpuno uništena fasada, enterijer i instalacije na spratovima zahvaćenim požarom. Nakon lokalizacije požara i raščišćavanja terena, u toku 2000. godine urađena je procjena stanja AB konstrukcije objekta i, na osnovu iste, sledeći radovi: 1) Demontaža kompletne konstrukcije fasade, 2) Uklonjena je bravarija i svi prozori, 3) AB elementi na spratovima koji su bili izloženi dejstvu visokih temperatura (VIII-XII sprat) su sanirani. Ovako "otvoren" objekat (Slika 3) je 20 godina bio izložen dejstvu atmosferilija, pa je, u cilju utvrđivanja trenutnog stanja konstrukcije, sa aspekta stabilnosti, nosivosti i trajnosti i vraćanja u stanje funkcionalnosti, potrebno uraditi procjenu stanja objekta, što je tema ovog rada.



Slika 3 – Nekadašnji i sadašnji izgled zgrade Radničkog Univerziteta



Konstrukciju objekta čine armiranobetonski skelet sa rasterom stubova od 6m u oba pravca i armiranobetonski zidovi u dijelu stepenišnog prostora. Dimenzije objekta u osnovi su cca 30x15m, a visina je 54m. Spratne visine u objektu su: suteran 2,6m, prizemlje 6,0m, I sprat 6,0, II - XIII sprat 3,5m.

### 3.2. Procjena stanja – vizuelni pregled objekta

Vizuelnim pregledom konstrukcije obuhvaćeni su svi spratovi koji nisu bili zahvaćeni požarom a to su prizemlje, i spratovi od I do VII sprata. Elementi koji su bili podvrgnuti vizuelnom pregledu su stubovi, zidna platna, poprečne/podužne grede, i međuspratna sitnorebrasta konstrukcija.

Vizuelnim pregledom detektovan je veliki broj defekata koji potiču iz perioda građenja objekta (mala debljina zaštitnog sloja betona, linijska segregacija na mjestima spojeva oplata, betonska gnijezda, geometrijske imperfekcije i nepravilno izvedeni prekidi betoniranja) i oštećenja koja su se razvila usled višegodišnje izloženosti objekta atmosferilijama i usled nabrojanih defekata (korozija armature i, posledično, oštećenja betonskih presjeka elemenata). Na narednim slikama (4-9) ilustrirani su ovi defekti i oštećenja.



Slika 4 – Betonsko gnijezdo u donjem dijelu stuba i vidljiva korodirala armatura (lijevo); mala debljina zaštitnog sloja betona i vidljiva armatura sa površinskom korozijom (desno)



Slika 5 – Opšti izgled zidnog platna u osi 11 na III spratu i detalj: rupa u zidu, veće betonsko gnijezdo, površinska korozija armature





Slika 6 – Nedovoljna debljina zaštitnog sloja betona, vidljive korodirale uzengije na donjoj površini poprečne grede, nataložene naslage na donjoj površini



Slika 7 – Odvaljeni donji delovi rebara, ogoljena armatura zahvaćena korozijom, podužna pukotina cijelom dužinom ploče tavanice sa izluživanjem



Slika 8 – Betonsko gnijezdo cijelim obimom rebra, šupljikav beton, vidljiva korozija armature



Slika 9 – Rupe sa okolnim otpadanjem betona, jaka korozija armature u zonama rupa

### 3.2. Nedestruktivna ispitivanja kvaliteta betona

Naknadno - kontrolno ispitivanje čvrstoće betona pri pritisku izvršeno je primjenom nedestruktivne metode ispitivanja (metoda sklerometra).

Statističkom obradom rezultata ispitivanja površinske tvrdoće betona zaključeno je sledeće:

- Srednja vrijednost računске čvrstoće betona pri pritisku za sva AB platna iznosi 65,6MPa, a za AB stubove 72,2MPa.

- Za vrijednosti čvrstoće pri pritisku dobijene metodom sklerometra za AB platna, standardna devijacija iznosi  $\pm 8\text{MPa}$ , odnosno  $\pm 11,5\text{MPa}$  za AB stubove. Na osnovu ovoga se može usvojiti, kao najnepovoljniji slučaj, da računске srednje vrijednosti čvrstoće betona pri pritisku iznose 57,6MPa za AB platna, odnosno 60,7MPa za AB stubove.

Za određivanje stanja zaštitnog sloja betona sa aspekta zaštite armature od korozije, odabrana je kolorimetrijska metoda pomoću fenol-ftaleina. Na osnovu prikazanih rezultata mjerenja dubine karbonatizovanog sloja AB elemenata, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Na AB stubovima debljina karbonatizovanog sloja iznosi 0mm, tako da front karbonatizacije nije ugrozio armaturu,
- Na aseizmičkim AB platnima debljina karbonatizovanog sloja iznosi minimalno 10mm, koliko je i dubina odštemanog sloja betona, tako da je alkalnost (pasivnost) zaštitnog sloja betona redukovana,
- Na ostalim AB platnima debljina karbonatizovanog sloja iznosi 0mm, tako da front karbonatizacije nije stigao do armature.

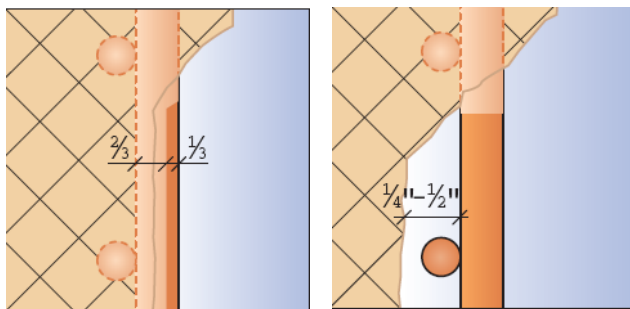
## 4. SANACIJA OBJEKTA

U okviru predloženog sanacionog rješenja, predviđene su sledeće operacije:

- Sanacija AB stubova sa lokalnom površinskom korozijom armature - nanošenjem aktivnog premaza,
- Reprofilacija lokalnih oštećenja AB stubova,
- Reprofilacija lokalnih oštećenja AB zidnih platana,
- Isjecanje dijela betonskog presjeka zidnog platna i izvođenje novog dijela presjeka,
- Sanacija AB greda sa lokalnom površinskom korozijom armature - nanošenjem aktivnog premaza,
- Konstrukcijska sanacija sitnorebraste tavanice: dodavanje armature koja se sidri u prethodno izbušene rupe pomoću materijala za zalivanje i dodavanje nove AB ploče,  $d=6\text{cm}$ . Kontrolnim proračunom konstrukcije, pokazano je da je količina postojeće armature u AB rebrima sitnorebraste tavanice dovoljna i za novoprojektovano opterećenje konstrukcije, te da nije potrebno ojačanje AB rebara za prijem novog opterećenja.
- Sanacija ivičnih AB greda: Ukoliko ovi elementi nisu potrebni za pričvršćivanje noseće konstrukcije fasade, predviđaju se metode sanacije: nanošenje aktivnog premaza i lokalna reprofilacija betonskog preseka. Ukoliko su ivične grede potrebne za pričvršćivanje noseće konstrukcije fasade, predviđaju se sledeće metode sanacije: nanošenje aktivnog premaza i reprofilacija betonskog preseka.

### 4.1. Opis sanacionih radova

Trošni, ispucali ili porozni dijelovi betona uklanjaju se primjenom pikhamera. Na isti način uklanjaju se i površinski slojevi betona, radi „otkrivanja“ armature, a u cilju ostvarivanja bolje athezije sa novim zaštitnim slojem betona. Dubina odštemovanog sloja betona zavisi od očuvanosti athezije između armature i betona i od stepena korozije armature.



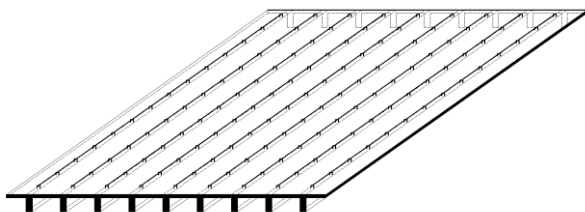
Slika 10 – Izgled odštemanog sloja betona zavisno d stepena korozije armature

Čišćenje armature žičanim četkama, ručno ili mehanički primjenjuje se radi uklanjanja produkata korozije čelika i ostataka cementnog kamena - čišćenje armature do „metalnog sjaja“.

#### 4.2. Sanaciono rješenje za sitno-rebrastu tavanicu

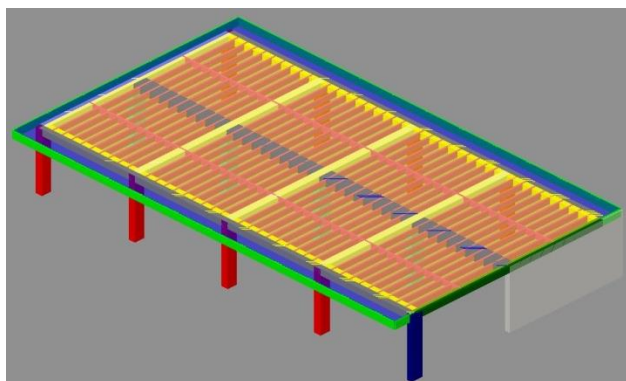
Metoda konstrukcijske sanacije AB ploča obuhvata:

- priprema površine stare AB ploče (hrapavljanje) u cilju ostvarivanja bolje veze između postojeće i nove AB ploče,
- postavljanje ukosnica RØ 8mm na mjestima rebara za vezu postojeće i nove AB ploče na razmaku od 40cm i gornje armature rebara RØ10mm - Slika 11,
- postavljanje oplata,
- postavljanje armature dodatne AB ploče tavanice: konstruktivna armatura - mreža Q188,
- betoniranje nove AB ploče, debljine 6cm, trofrakcijskim betonom, MB 20 (beton B1).



Slika 11 – Postavljanje ukosnica na mjestima rebara za vezu postojeće i nove AB ploče

U cilju provjere nosivosti rebara za novo opterećenje na tavanici, urađena je analiza opterećenja za jedan karakterističan sprat i kontrolni proračun konstrukcije. Analiza je sprovedena za postojeće i novoprojektovano opterećenje na tavanici u softveru Radimpex Tower.



Slika 12 – Model konstrukcije karakterističnog sprata - Izometrija (Tower Radimpex)

Analizom rezultata kontrolnog proračuna zaključeno je da je količina postojeće armature u AB rebrima sitnorebraste tavanice dovoljna i za novoprojektovano opterećenje konstrukcije, te da nije potrebno ojačanje AB rebara za prijem novog opterećenja.

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je data procjena stanja i prijedlog sanacionog rješenja za zgradu Radničkog Univerziteta. Ova zgrada je 2000. godine (spratovi 8-13) bila izložena dejstvu požara, usled čega su uništeni: fasada i enterijer objekta. Nakon požara, spratovi koji su stradali u požaru su sanirani, a, dodatno, za povećanje seizmičke otpornosti konstrukcije, projektovana su i izvedena aseizmička platna na spratovima: prizemlje, I i II sprat. Sanacionim rješenjem se zgrada može vratiti u stanje funkcionalnosti uz obezbjeđenje trajnosti AB elemenata konstrukcije.

#### 6. LITERATURA

- [1] Edisa Nukić, Jelena Marković: Inženjerstvo bezbednosti od požara, Bezbednost zgrada od požara - pristup i praksa na Zapadnom Balkanu, Novi Sad, 2020.
- [2] Graditeljstvo i životna sredina, Materijal sa predavanja, Doc. dr Slobodan Šupić, april 2021.
- [3] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu visokih objekata od požara ("Cl. Glasnik RS", br. 80/2015, 67/2017 i 103/2018).
- [4] Malešev M., Radonjanin V.: „Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija“, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

#### Kratka biografija:



**Savo Starović** rođen je u Trebinju RS/BiH 27.01.1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo - Konstrukcije, procena stanja i sanacija betonskih konstrukcija odbranio je 2021.god.

Kontakt: [savostarovic@gmail.com](mailto:savostarovic@gmail.com)



**PROJEKAT ARMIRANOBETONSKE VIŠESPATNE ZGRADE U NOVOM SADU  
PREMA EVROPSKIM STANDARDIMA****THE PROJECT OF MULTI-STOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING IN NOVI  
SAD ACCORDING TO EUROPEAN STANDARDS**

Milovan Tomanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U prvom dijelu rada prikazan je projekat armiranobetonske višespratne zgrade Po+P+5+Pk u Novom Sadu, a u drugom dijelu je analiziran uticaj položaja zidova za ukrućenje na odgovor konstrukcije prema evropskim standardima

**Ključne reči:** Armiranobetonska zgrada, Evropski standardi, Seizmička analiza

**Abstract** – The first part of the work consist the project of multi-storey reinforced concrete building, basement+ ground floor+5 stories+top floor in Novi Sad, and the second part consist analysis of the impact of shear walls disposition on the seismic response of building structure according to European standards

**Keywords:** Reinforced concrete building, European standards, Seismic analysis

**1. UVOD**

Projektnim zadatkom predviđeno je projektovanje armiranobetonske višespratne zgrade Po+P+5+Pk, skeletnog tipa sa zidovima za ukrućenje, prema evropskim standardima na osnovu zadatog arhitektonskog plana. Lokacija objekta je Novi Sad.

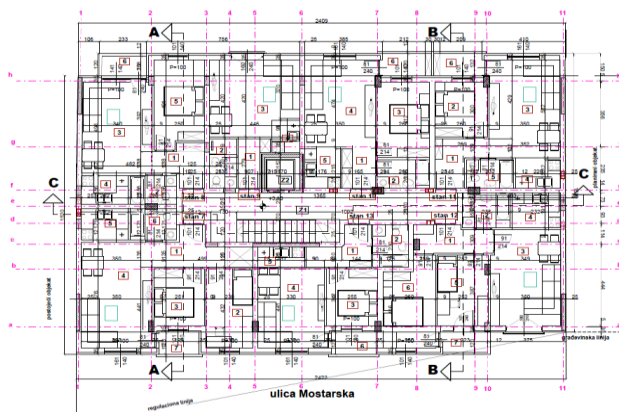
**2. TEHNIČKI OPIS****2.1. Arhitektonsko rješenje**

Objekat je u osnovi nepravilnog oblika, površine u osnovi 302 m<sup>2</sup> i spratnosti podrum + prizemlje + 5 spratova + potkrovlje. Spratna visina podruma je 2,75 m, prizemlja 2,90 m a tipskih spratova 2,68 m. Ukupna visina objekta iznad kote terena je 21,38 m. Podrum je najvećim dijelom predviđen da se koristi kao pomoćni prostor, u prizemlju je smješteno 6 stambenih jedinica, dok je na ostalim spratovima smješteno po 7 stanova. Krov je ravan, neprohodan. Vertikalna komunikacija između spratova se ostvaruje pomoću jednokrakog stepeništa i lifta. Fasadni zidovi su od termo blokova i obloženi demit fasadom, dok se pregradni zidovi izvode od giter bloka ili opeke. Podovi su izvedeni od parketa ili keramičkih pločica, u zavisnosti od namjene prostorija.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Ladinović, red. prof.

Na slici 1 dato je arhitektonsko rješenje tipskog sprata.



Slika 1. Osnova tipskog sprata

**2.2. Konstruktivni sistem zgrade**

Konstruktivni sistem objekta je skelet ukrućen armiranobetonskim platnima. Stubovi su različitih dimenzija i njihov poprečni presjek je usvojen prema dopuštenim naponima koje propisuje Evrokod [1,2,3]. Međuspratna konstrukcija je projektovana kao puna AB ploča, direktno oslonjena na stubove. Zidovi za ukrućenje su raspoređeni po obodu objekta, oko lifta i oko stepeništa. Zidovi u podrumu su armiranobetonski i izvedeni po obimu konstrukcije. Objekat se fundira na temeljnoj ploči debljine 50 cm, a ispod nje se izvodi sloj šljunka i sloj mršavog betona. Hidroizolacija se postavlja ispod temeljne ploče i sa spoljašnjih strana podrumskih zidova. Dozvoljeni napon u tlu je 200 kN/m<sup>2</sup>, marka betona svih elemenata nosećeg sistema je C25/30, a kvalitet armature B500B.

**2.3. Analiza opterećenja**

Za projektovanje i dimenzionisanje elemenata konstrukcije razmatrana su sva opterećenja koja mogu djelovati na konstrukciju u toku eksploatacije, kao i njihove najnepovoljnije kombinacije. Na zadatu konstrukciju djeluju sljedeća opterećenja:

- Stalno opterećenje
- Korisno opterećenje
- Opterećenje od snijega
- Opterećenje od vjetra
- Seizmičko opterećenje

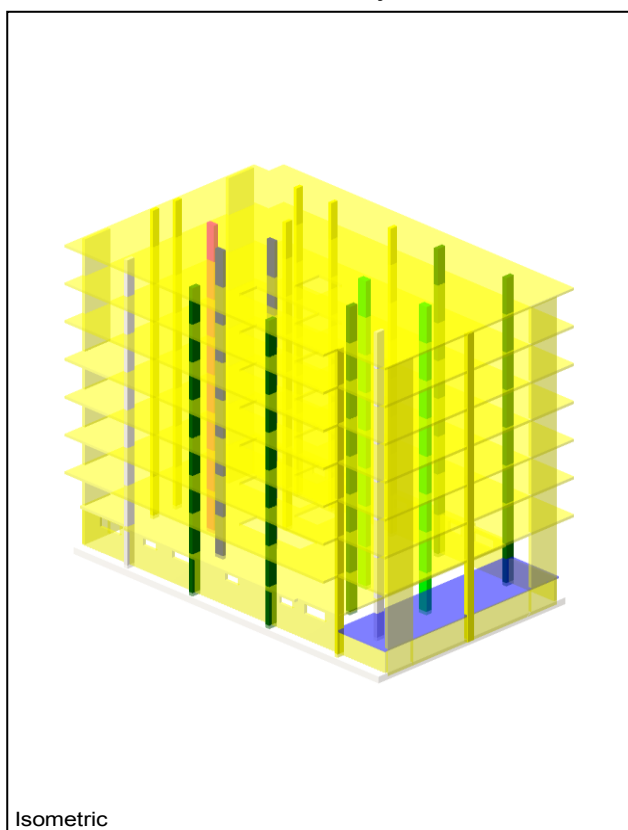
Stalno opterećenje potiče od sopstvene težine konstruktivnih i nekonstruktivnih elemenata konstrukcije.

Korisno opterećenje je usvaja prema standardu Evrokoda EN1991-1-1:2001 [1], intenzitet zavisi od namjene određene prostorije, a nanosi se jednakopodjeljeno površinsko opterećenje. Opterećenje snijegom se računa prema standardu EN1991-1-3:2003 [1], i takođe se nanosi kao jednakopodjeljeno površinsko opterećenje.

Opterećenje vjetrom računa se prema standardu EN1991-1-4:2005 [1] i nanosi se kao površinsko opterećenje, a zatim se konvertuje u linijsko. Seizmičko opterećenje se računa pomoću softveta Tower 7.0, a proračun se obavlja prema Evrokod standardu EN1998-1:2004 [3], primjenom multimodalne spektralne analize.

#### 2.4. Modeliranje konstrukcije i opterećenja

Konstrukcija je modelirana u softverskom paketu Tower 7.0. Osnovni noseći sistem konstrukcije je skeletni sistem sa zidovima za ukrućenke. Na slici 2 prikazan je trodimenzionalni model konstrukcije.



Slika 2. 3D model konstrukcije

Model se sastoji iz površinskih (ploče, zidovi) i linijskih ( stubovi) konačnih elemenata. Svi elementi su modelirani tako da njihove geometrijske i mehaničke karakteristike odgovaraju onima koje su zadate u projektu.

Prilikom modeliranja uzet je u obzir pad torziona i savojne krutosti elemenata konstrukcije, i to tako što je torziona krutost greda smanjena na veličinu koja odgovara 10% krutosti homogenog betonskog presjeka, dok je savojna krutost smanjena na 50%.

Savojna krutost stubova i zidova za ukrućenje smanjena je na vrijednost koja odgovara 50% krutosti homogenog betonskog presjeka.

Prilikom formiranja proračunskog modela korišćena je mreža konačnih elemenata veličine 0,5m. Tlo je

modelirano pomoću Vinklerovog modela, koji omogućuje interakciju konstrukcije i podloge [4,5].

Opterećenja se nanose na model kao linijska i površinska. Pomoću softvera je izvršena modalna analiza, na osnovu koje su dobijeni parametri koji služe za dalji proračun seizmičkih sila.

Seizmički proračun je urađen multimodalnom spektralnom analizom. Proračun konstrukcije je izvršen prema linearnoj teoriji elastičnosti u kojoj se pretpostavlja geometrijska i materijalna linearnost.

#### 2.5. Proračunske kontrole

Prema pravilniku [2,3], potrebno je izvršiti sljedeće kontrole:

- Kontrola normalizovane vrijednosti aksijalnih sila u stubovima i zidovima
- Kontrola napona u tlu
- Kontrola relativnog spratnog pomjeranja

Normalizovanu aksijalnu silu je prema pravilniku EN1998-1:2004 [3] neophodno kontrolisati u primarnim seizmičkim elementima, odnosno stubovima, seizmičkim platnima i gredama.

Dobija se iz seizmičke proračunske kombinacije prema graničnom stanju nosivosti.

Za primarne seizmičke stubove projektovane na klasu duktilnosti DCM, vrijednost normalizovane aksijalne sile ne smije biti veća od 0,65, dok kod seizmičkih zidova ova vrijednost ne smije biti veća od 0,40.

Naponi u tlu se kontrolišu u svrhu provjere da li je usvojeno adekvatno temeljenje objekta, i u ovom slučaju potrebno je obezbijediti nosivost tla od 200 kPa. Kontrola napona u tlu se radi za anvelopu uticaja eksploatacionih neseizmičkih i seizmičkih opterećenja.

Horizontalna spratna pomjeranja spadaju u domen kontrole graničnog stanja upotrebljivosti i pravilnik EN1998-1:2004 [3] propisuje dopuštene vrijednosti za dozvoljena relativna spratna pomjeranja. Kontrolišu se za eksploatacionu seizmičku kombinaciju opterećenja.

Nakon analize zaključeno je da konstrukcija zadovoljava uslove svih prethodno nabrojanih kontrola.

#### 2.6. Dimenzionisanje i armiranje elemenata

Dimenzionisanje elemenata konstrukcije je izvršeno u softverskom paketu Tower 7.0, i dimenzionisani su sljedeći elementi:

- Temeljna ploča
- Ploča prizemlja
- Ploča tipskog sprata
- Ram u osi F
- Ram u osi 11
- Ploča stepeništa.

Dimenzionisanje je izvršeno u skladu sa pravilnikom Evrokod [1,2,3], prema uticajima mjerodavnih graničnih kombinacija. Svi konstruktivni elementi su od betona klase C25/30 i armirani su rebrastom armaturom B500B.

### 3. UTICAJ POLOŽAJA ZIDOVA ZA UKRUĆENJE NA ODGOVOR KONSTRUKCIJE SAGLASNO EC8

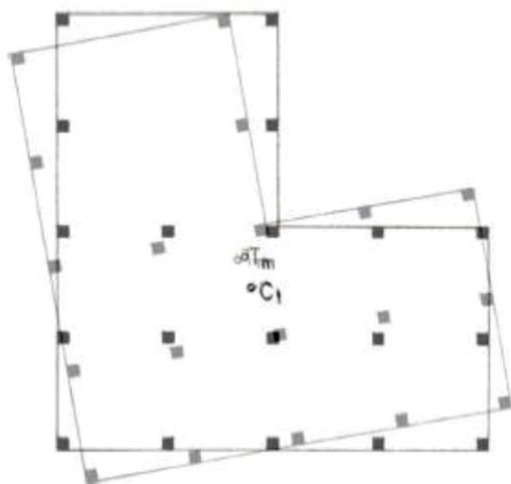
#### 3.1. Uvod

Prema EC8 [3] pored otpornosti i krutosti konstrukcije u dva pravca, zahtijeva se torziona otpornost i krutost konstrukcije. Horizontalno seizmičko kretanje je fenomen u dva pravca, pa konstrukcija zgrade mora da bude sposobna da se odupre horizontalnim dejstvima u bilo kom pravcu.

Da bi se ovo postiglo, potrebno je rasporediti noseće elemente u osnovi međusobno ortogonalno, tako da se obezbijede slične karakteristike krutosti i otpornosti u oba glavna pravca. Tako treba da se ograniči nastanak prekomjernih pomjeranja koje mogu da dovedu do nestabilnosti usljed efekata drugog reda ili do prevelikih oštećenja.

Osim bočne otpornosti i krutosti, konstrukcija zgrada treba da posjeduje i adekvatnu torzionu otpornost i krutost sa ciljem da se smanji nastajanje torzionih pomjeranja usljed kojih dolazi do neravnomjernog naprezanja različitih konstrukcijskih elemenata. To se postiže postavljanjem glavnih nosećih elemenata, koji se suprotstavljaju seizmičkim dejstvima, bliže obimu zgrade. Pravilnim izborom dispozicije, kao i pravilnim rasporedom konstruktivnih elemenata sprečava se pojava velikog ekscentriciteta centra mase i centra krutosti, usljed čega se od dejstva seizmičkih sila javljaju veliki momenti torzije koji dalje prouzrokuju velika pomjeranja i velike uticaje.

Pri izboru oblika zgrade u osnovi, prednost je uvijek na strani sažetih i simetričnih osnova, dok dugačke, razuđene, nesimetrične i nepravilne osnove treba da se izbjegavaju. Simetrijom zgrade u osnovi, postiže se jednostavnost konstrukcije i translatorno pomjeranje tavanice. U odnosu na nesimetrične, ovakve zgrade se odlikuju većom seizmičkom otpornošću. Kod nesimetričnih osnova, teško je obezbijediti poklapanje centra mase i centra krutosti, usljed čega se javlja torziranje zgrade u osnovi. Uticaji izazvani torziranjem mogu biti značajni i kod obodnih elemenata, pa čak i prevazići uticaje translatornog pomjeranja.



Slika 3. Torziranje zgrade u osnovi

Ipak, ni simetrične zgrade nisu u potpunosti oslobođene torziranja osnove. Poklapanje centra mase i centra krutosti je uvijek samo idealizacija. Uz to, i idealno simetrična zgrada postaje nesimetrična nakon prvog oštećenja. Ukoliko se nesimetrična zgrada mora raditi, poželjno je rastaviti je razdjelnicama na niz prostih i simetričnih dijelova.

Ako ni to nije moguće, treba da se teži maksimalnom poklapanju centara krutosti i mase. Konstrukcija se u osnovi može smatrati torziono oslonjenom u centru krutosti, a napadnuta seizmičkom silom u centru mase.

U vertikalnom smislu, treba da se teži jednoličnosti konstrukcije. Svaka nesimetrična promjena dovodi do neželjenih torzionih momenata. Kod zgrada sa većom visinskom razlikom, poželjno je dijelove zgrada različite spratnosti dilatirati, posebno ako je visinska razlika nesimetrična [4].

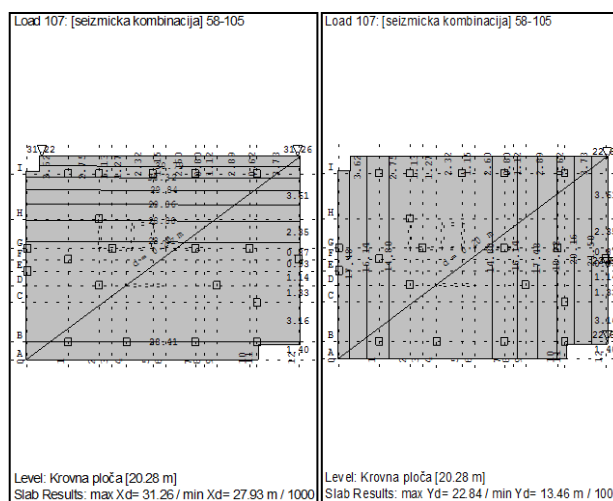
Prema Evrokodu 8 [3] definisani su kriterijumi regularnosti konstrukcije dopunjujući načelne koji se odnose na simetričnost, uniformnost... Pri tome konstrukcija i dalje može biti projektovana kao neregularna, ali uz uslov zadovoljenja strožih uslova i/ili nemogućnost korišćenja pojednostavljenih metoda proračuna.

#### 3.2. Ponašanje konstrukcije u zavisnosti od promjene položaja zidova za ukrućenje

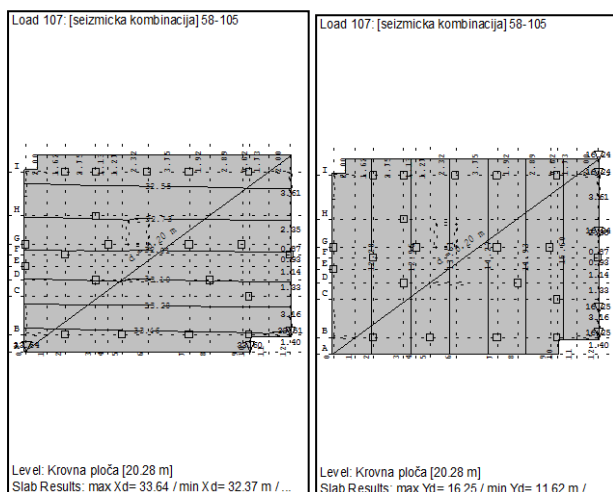
U ovom dijelu biće analizirana tri modela konkretne konstrukcije sa različitim rasporedima zidova za ukrućenje. Plan je da se pokaže kako utiče raspored zidova za ukrućenje na sledeće parametre:

- Pomjeranje etaža konstrukcije u dva međusobno ortogonalna pravca
- Analiziranje uticaja udaljenosti centra krutosti konstrukcije na oblike oscilovanja

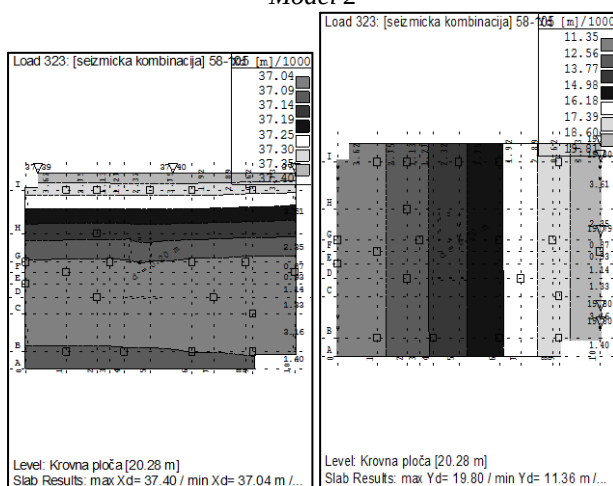
Na slikama 4, 5, 6 i 7 prikazani su rezultati pomjeranja krovne ploče u dva glavna pravca za sva 3 navedena modela, kao i uticaj položaja zidova u odnosu na centar krutosti na periode oscilovanja konstrukcije.



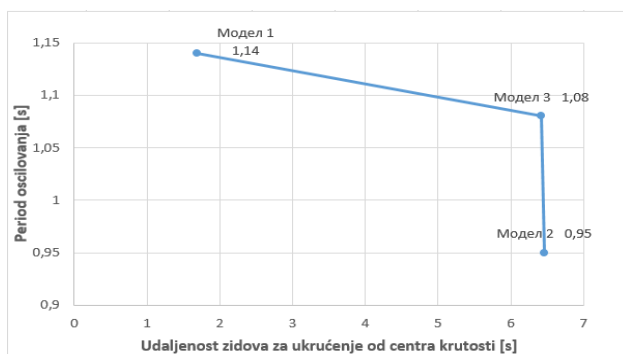
Slika 4. Pomjeranja krovne ploče u dva glavna pravca – Model 1



Slika 5. Pomjerenja krovne ploče u dva glavna pravca – Model 2



Slika 6. Pomjerenja krovne ploče u dva glavna pravca – Model 3



Slika 7. Uticaj udaljenosti zidova za ukrućenje od centra krutosti na periode oscilovanja konstrukcije

### 3.3. Zaključak

Analizom prethodna tri modela, došlo se do zaključka da se po pitanju torzionih efekata, tj. pomjerenja i oblika oscilovanja izazvanih torzijom, najbolje ponaša model 2 konstrukcije kod koga su zidovi za ukrućenje raspoređeni po obodu konstrukcije.

To je potvrda teorije da je po pitanju torzije najbolje postaviti zidove po obodnom dijelu konstrukcije. Prethodno je analiziran model 1, kod koga su zidovi oba pravca pomjereni ka sredini konstrukcije. Model 1 je po pitanju uticaja torzionih efekata na seizmički odgovor konstrukcije najnepovoljniji iz razloga lošeg rasporeda seizmičkih zidova. Kao posljednji, analiziran je model 3 koji je i obrađen u ovom radu, i gdje se nastojalo da se postigne kompromis arhitektonskih, funkcionalnih i statičkih parametara. Takođe, analizirajući oblike oscilovanja, primjećuje se da se prelaskom sa modela 1 na model 2 smanjuje i torziranje osnove, dok model 3 predstavlja prelazni model između prva dva.

Zaključak teorijskog dijela bio bi potvrda teorija koje su postavljene na početku ovog poglavlja. Analizom svih ovih modela, čiji su rezultati grafički prikazani, dolazimo do sljedećih zaključaka:

- Zidovi u X i Y pravcu sprečavaju translatorno pomjerenje konstrukcije objekta ali nisu garancija da neće biti torziranja osnove zgrade i njenih nepovoljnih efekata u slučaju seizmičkog opterećenja. Pored postojanja zidova X i Y pravca, bitan je i njihov raspored kako bi se spriječilo torziranje zgrade u osnovi.
- Zidovi za ukrućenje, tačnije njihov položaj treba da bude što udaljeniji od centra krutosti konstrukcije kako bi se što efikasnije suprotstavili torzionom momentu (idealni položaj jeste obodni dio konstrukcije).
- Čak i manji ekscentriciteti sa nepovoljnim rasporedom seizmičkih zidova mogu da izazovu velike torzione efekte a samim tim veća pomjerenja i veće uticaje, naročito u vertikalnim elementima koji se nalaze po obimu konstrukcije.
- Sprečavanje neželjenih torzionih efekata usljed seizmičkog opterećenja na konstrukciju zavisi kako od broja seizmičkih zidova, tako i od njihovog rasporeda koji je veoma bitan.

## 4. LITERATURA

- [1] Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije, Beograd, 2009.
- [2] Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija, Beograd, 2009.
- [3] Evrokod 8: Proračun seizmički otpornih konstrukcija, Beograd, 2009.
- [4] Dr Zoran Brujić: „Betonske konstrukcije u zgradarstvu prema Evrokodu – skripta”, Novi Sad, 2018
- [5] S. Stefanović: Fundiranje, Naučna knjiga, Beograd 1989.

### Kratka biografija:

**Milovan Tomanović** rođen je u Trebinju 1993. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Seizmička analiza konstrukcija odbranio je 2021.god.

Kontakt: [milovan.tomanovic.993@gmail.com](mailto:milovan.tomanovic.993@gmail.com)



## ANALIZA VODOSNABDEVANJA NASELJA BAČKA PALANKA

### WATER SUPPLY ANALYSIS OF SETTLEMENTS OF THE BAČKA PALANKA

Marko Mihajlović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – GRAĐEVINARSTVO

**Kratak sadržaj** – U okviru rada predstavljene su neka od mogućih rešenja vodosnabdevanja naselja Bačke Palanke. Cilj rada je bio unapređenje mreže, predlaganjem jednog idealnog rešenja vodosnabdevanja na osnovu zadatih potreba, sprovedene hidrauličke analize, te i potrebe za vodom odgovarajućeg kvaliteta. Hidraulička analiza i analiza kvaliteta vode su sprovedeni u okviru programskog paketa EPANET.

**Ključne reči:** vodosnabdevanje, hidraulička analiza, kvalitet vode

**Abstract** –The paper presents some of the possible solutions for water supply of the settlement of Backa Palanka. The aim of this paper was to improve the current networks, by proposing an ideal solution of water supply based on the given requirements, conducted hydraulic analysis and the need for water of appropriate quality. Hydraulic analysis and water quality analysis were conducted within the EPANET software package.

**Keywords:** water supply, hydraulic analysis, water quality

#### 1. POSTOJEĆE STANJE

Vodosnabdevanje naselja opštine Bačka Palanka je organizovano na nivou mesnih zajednica pripadajućih naselja. Svako od ukupno 14 naseljenih mesta ponaosob ima razvijenu javnu vodovodnu distributivnu mrežu u okviru granice građevinskog rejona naselja. Tradicionalno za naselja Vojvodine snabdevanje vodom se obavlja putem bušenih bunara. U svakom od naselja - na bačkoj strani teritorije opštine - postoji po nekoliko bušenih bunara koji su međusobno povezani u jedinstvenu vodovodnu mrežu, a u dva naselja na sremskoj strani vodozahvati su kaptaže, odnosno drenaže. U skoro svim seoskim naseljima se kaptirana i zahvaćena podzemna voda bez tretmana se isporučuje građanima i ostalim korisnicima [5].

Kvalitet vode jedino zadovoljava u gradu Bačka Palanka zbog toga što postoji fabrika vode, a u naseljenim mestima kvalitet ne zadovoljava. Industrija ima sopstvene bunare. Međutim, sanitarnom vodom se snabdevaju iz gradskog vodovoda. Vodovodi su prepušteni održavanju seoskim mesnim zajednicama, a izvorišta vode sa bunarima su na granici iskorišćenosti bunarskih konstrukcija.

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc dr. Matija Stipić.

Pojedina izvorišta nisu u mogućnosti da obezbede zone sanitarne zaštite, tako da postoji opasnost od zagađenja izvorišta

Javna vodovodna distributivna mreža je stara preko 45 godina, i izgrađena uglavnom od azbest cementnih vodovodnih cevi, čija je upotreba u evropskim zemljama zabranjena, kao potencijalnog nosioca kancera. Pored toga, poštujući Pravilnik o tehničkim normativima za hidrantsku mrežu za gašenje požara, veliki deo javne vodovodne mreže mora imati minimalni prečnik 100 mm. Povećani prečnik cevi za potrebe retkih požara prouzrokovao je brzine u cevima manje od 0,1 m/s tokom celog dana. Usled toga dolazi do značajnog taloženja u cevima, pojave biofilma i narušavanja kvaliteta sirove vode koja se direktno iz bunara potiskuje u mrežu [1].

#### 2. POTREBE ZA VODOM I MERODAVNI PROTOCI

Objekti postrojenja za preradu vode se dimenzionišu za projektni period od 25 do 30 godina. Objekti distributivne mreže se projektuju na period od 50 godina. Hidraulički proračun vodovodne mreže se za nove vodovodne sisteme radi za period od 30 godina. Za kraj projektnog perioda utvrđuju se merodavni proticaji za dimenzionisanje osnovnih objekata vodovodnog sistema (izvorište vode, postrojenje za preradu vode PPV, rezervoari, glavni dovodnici vode i razvodna distributivna mreže).

Stanovništvo, privredne i infrastrukturne delatnosti su bitni društveno-ekonomski činioci planiranja vodoprivrednog razvoja. Na osnovu broja i prostornog rasporeda populacije, fizičkog obima proizvodnje industrije, poljoprivrede i dr. Utvrđuju se potrebe za vodom i zaštitom voda na određenim prostorima do kraja projektnog perioda, što bi predstavljalo 2051. godinu.

Na osnovu rezultata dosadašnjih popisa i određenih uopštavanja, vezanih za lokaciju i tip svakog od 11 „severnih“ naselja (severno tj. levo od Dunava) na području opštine Bačka Palanka, izvršena je demografska analiza, usmerena ka proceni budućeg broja stanovnika.

Koristeći izraz (1) procenjuje se budući broj stanovnika u posmatranoj opštini [3]:

$$N_2 = N_1 \times (1 + p/100)^n, \quad (1)$$

Gde su:

$N_1$  - broj stanovnika prema poslednjem popisu;

$N_2$  - broj stanovnika na kraju projektnog perioda;

$p$  - stopa godišnjeg priraštaja stanovništva u %;

$n$ -projektni period. Dosadašnjom obradom podataka se od poslednjeg popisa stanovništva predviđa kontinuirani pad, koji opisuje negativna stopa godišnjeg priraštaja. Za stopu su uzete relativno male vrednosti u poređenju sa prethodnim periodom do 2011. godine [5]. Razlog za to su predviđanja, o pomeranju stanovništva na područja sa obradivim zemljištem, te i mogućnost otvaranja novih manjih industrijskih zona nedaleko od naselja.



Slika 1. Primer promene broja stanovnika za prosečno naselje opštine Bačka Palanka (1948.-2011.)

Vrednost buduće potrošnje, u visokom stepenu, predstavlja stohastičku veličinu, što znači da se ne može predvideti sa visokom sigurnošću. Načelno, problem proračuna budućih potreba za vodom predstavlja široko polje za definisanje uslova pod kojima je on izvršen. U toj analizi, potrebno je definisati opšta mesta, koja su vezana za prirodu potrošnje postupak analize, opredeljen količinom i kvalitetom ulaznih podataka za proračun predviđene društvene okolnosti, kao okvira za potrošnju vode kao i određene specifičnosti područja, čije potrebe za vodom su predmet analize.

Za domaće standarde, koji su primenjeni u radu, koriste se „Normativi potrošnje“ kao glavna referenca pri definisanu merodavnih veličina. To su planske veličine koje određuju potreban kapacitet sistema za snabdevanje vodom. Utvrđuju se na osnovu realnih podataka o potrošnji vode na posmatranom području, teorijski utvrđenih fizioloških i sanitarno higijenskih potreba čoveka, kao i specifičnih karakteristika i zahteva. Veliki uticaj na normative imaju i veličina raspoloživih resursa i cena [1]. Normative čine:

- norma potrošnje (prosečna dnevna potrošnja svedena na jednog korisnika)
- koeficijenti neravnomernosti potrošnje<sup>1</sup>

Za dimenzionisanje elemenata i objekata u vodovodnoj mreži bilo je potrebno odrediti maksimalnu dnevnu i maksimalnu časovnu potrošnju definisanu maksimalnim dnevnim i časovnim proticajima koji se predviđaju. Maksimalni proticaji se dobijaju iz srednje dnevne potrošnje, čiji se opšti proračun prikazuje u nastavku.

$$Q_{sr,dn} = Q_{uk,sr,dn} + Q_{gub} \quad (2)$$

$$Q_{uk,r,dn} = Q_{sr,st,dn} + Q_{sr,GWGV,dn} + Q_{JP,dn} + Q_{pož} \quad (3)$$

$$Q_{gub} = 0,15 \times Q_{uk,sr,dn} \quad (4)$$

Gde su:

$Q_{sr,dn}$  – proračunski sredni dnevni proticaj

$Q_{sr,dn,uk}$  – sredni dnevni proticaj sumarnih potreba u naseljima

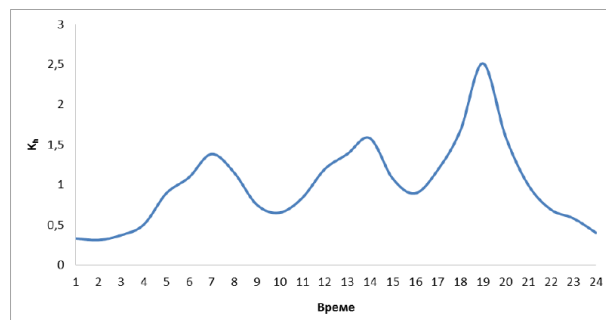
$Q_{sr,st,dn}$  – srednji dnevni proticaj za potrebe stanovništva

$Q_{sr,GWGV,dn}$  – srednji dnevni proticaj za potrebe stočarstva

$Q_{JP,dn}$  – srednji dnevni proticaj javne potrošnje

$Q_{pož}$  – protivpožarna potreba

Multiplikacijom članova prethodnih jednačina koeficijentima neravnomernosti dobijene su maksimalni dnevni i časovni proticaji [3].



Slika 2. Primer jediničnog dijagrama potrošnje za mala (seoska) naselja Južne Bačke

### 3. DIMENZIONISANJE I IZBOR ELEMENATA VODOVODNE MREŽE

Pri analizi opredeljenja za cevni materijal novoprojektovanog cevovoda biraju se HDPE<sup>2</sup>, zbog iznimnih mehaničkih svojstava pri minimalnoj škodljivosti prilikom eksploatacije.

Kapacitet izvorišta i dovodnika do rezervoara (ispred svakog naselja) dimenzioniše se na maksimalnu dnevnu potrošnju. Razvodna vodovodna distributivna mreža dimenzioniše se na maksimalnu časovnu potrošnju.

Rezervoari se u vodosnabdevanju ispred naselja koriste za izravnavanje dnevne neravnomernosti vode kod korisnika, za očuvanje pritiska u mreži, i za skladištenje vode za protivpožarne potrebe. Predviđeni armirano-betonski rezervoari sadrži cevi za dotok, za odvod vode, cevi za odvod viška vode (preliv) kao i cevi za pražnjenje rezervoara. Opremljen je fazonskim komadima, armaturama i ventilacijom, a dimenzionisanje se sprovodi korišćenjem podataka o časovnim neravnomernostima (koje dosežu šestostruke vrednosti dnevnih potreba) u naseljima, odnosno sumiranjem zapremine za izravnavanje razlike između doticanja u rezervoar i potrošnje u vodovodnoj mreži, zapremine vode za protivpožarne potrošnje kao i zapremine vode za nepredviđene slučajeve (slučajevi kvarova) [3].

Pumpne stanice, koje potiskuju vodu od rezervoara do naselja se dimenzionišu na maksimalne časovne proticaje  $Q_{max,h}$  [3].

<sup>1</sup> Koeficijent neravnomernosti potrošnje - DVGW W410

<sup>2</sup> HDPE- High-density polyethylene

#### 4. MODELOVANJE TEČENJA U VODOVODNOM SISTEMU

Za izradu hidrauličkog modela korišćen je softverski paket EPANET. Osnovne jednačine iz mehanike fluida koje se primenjuju u softveru su: o održanju mase (5), o održanju količine kretanja (7) i održanja energije (8) [2].

Prvi zakon o održanju mase kaže da je masa nepromenljiva, ona se ne može uništiti ni stvoriti. Jednačina održanja mase u konačnoj zapremini  $V$ , ograničena površinom  $A$ , je:

$$\int_v \frac{D}{Dt} \rho dV \quad (5)$$

D se odnosi na materijalni izvod mase fluidnog delića, elementarne mase  $\rho dV$ . Do promene mase unutar zapremine  $V$ , dolazi samo ako se menja gustina fluida  $\rho$ . Za nestišljiv fluid važi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

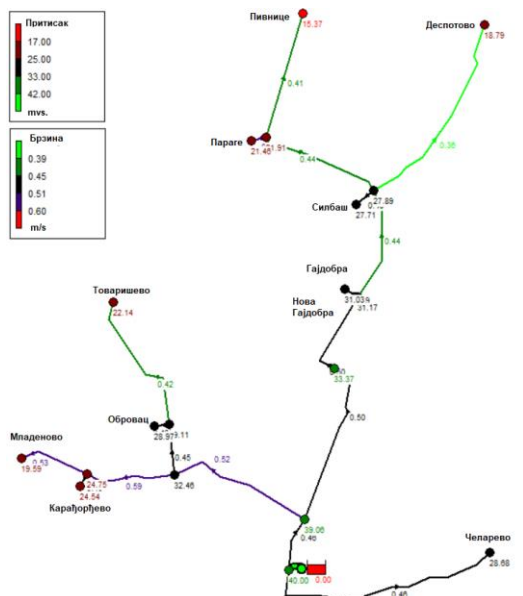
Zakon održanja količine kretanja (7) govori da je promena količine kretanja (proizvod mase i brzine) srazmeran delujućoj sili. U nastavku se prikazuje primenjivana jednačina uravnoteženih sila na delić fluida u sistemu.

$$I_1 + I_2 + G + K + P_1 + P_2 = 0 \quad (7)$$

Zakon o održanju energije (8) dozvoljava samo prelazak iz jedne vrste energije u drugu. Matematički se interpretira Bernulijevom jednačinom :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Delta E_{1-2} \quad (8)$$

Hidraulički proračun je sproveden za četiri varijante magistralnog sistema granatog tipa mreže. S obzirom da je ispred svakog naselja predviđen rezervoar (osim za naselje Karađorđevo – zbog male potrošnje). U analizi je korišćena potrošnja vode koje je jednaka maksimalnoj dnevnoj potrošnji. Za naselje Karađorđevo korišćena je maksimalna časovna potrošnja, zbog nepostojanja rezervoara.



Slika 3. Šematski prikaz prve varijante sistema sa „mapiranim“ pritiscima i brzinama (EPA NET)

Ispred rezervoara, predviđa se regulator pritiska-protoka

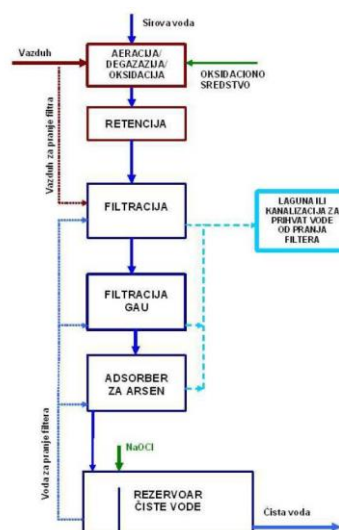
koji održava konstantni izlazni pritisak (0.5-0.7 bar-a). Nakon regulatora pritiska se planiraju rezervoari čija zapremina obuhvata zapreminu za dnevno izravnanje časovne potrošnje, protivpožarne potrebe i rezerva u radu (za dva časa rada). Iterativno modelovanje je izvršeno tako da se brzine u dovodnim cevovodima kreću u granicama 0.36-0.6 m/s, a pritisci od 1.5-4.5 bar-a.

Iz priloženog se vidi da je za postizanje minimalnog pritiska na najnepovoljnijem mestu (~15 mvs. ispred naselja Pivnice) potrebno u crpnoj stanici kod PPV Bačka Palanka obezbediti pritisak od 40 m.v.s. Brzina vode u cevovodima se kreće od minimalnih 0.36 m/s do maksimalnih preporučenih tj. 0.6 m/s.

#### 5. KVALITET I TRETMAN KONZUMNE PODZMNE VODE

Bunarima su kaptirani, sa predviđenom sanitarnom zaštitom, peskoviti slojevi do 56 m, i u različitim intervalima od 137 m do 200 m i od 200 m do 231 m. Početni eksploatacioni kapacitet pojedinačnih bunara je od 9-10 l/s, a sa starenjem bunara kapacitet se smanjuje na 3-6 l/s. Godišnji eksploatacioni kapacitet izvorišta je oko  $Q_{sr} = 96$  l/s, a maksimalni instalirani kapacitet fabrike vode je  $Q = 125$  l/s u prvoj fazi i  $Q = 250$  l/s u drugoj fazi posle formiranja izvorišta „Ristića put zapad“ i „Ristića put – istok“.

Na osnovu postojećih analiza kvaliteta vode na celokupnoj teritoriji opštine Bačka Palanka ustanovljen je hemijski sastav, sa očekivanim vrednostima određenih parametara. Analizirani parametri koji negativno utiču na kvalitet vode, te samim tim i na konzumnost vode različitog hemijskog sastava – uočeni su kao niz (ne)organskih elemenata i jedinjenja među kojima se za teritoriju posmatrane opštine izdvaja prisustvo  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ , Fe, Mn, organske materije < 20 mg  $KMnO_4/l$ , As < 50  $\mu g/l$ . Prisustvo navedenih parametara je potrebno umanjiti do dozvoljenih granica, stoga je u domaćim standardima predviđen proces prečišćavanja „D“ sa redosledom operacija prečišćavanja prikazanim u nastavku [1].



Slika 4. Šema tretmana vode za piće „D“

Dezinfekcija vode za piće se kod nas gotovo isključivo izvodi hlorisanjem. Treba naglasiti, da je hlor, u najvećem broju slučajeva, dovoljno dobar dezinficijens za uklanjanje patogena iz podzemne vode (u Vojvodini se isključivo podzemna voda koristi za vodosnabdevanje), pogotovo ako je broj mikroorganizama prethodno značajno smanjen filtracijom.

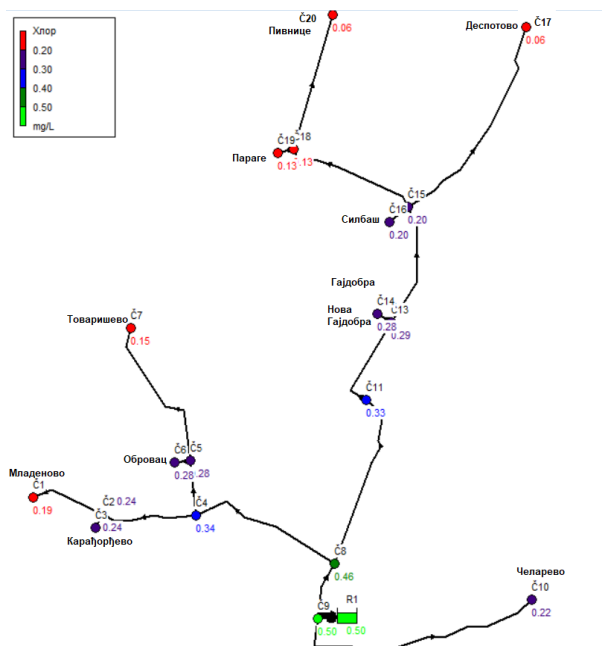
Dezinfekciona sredstva, koja se upotrebljavaju za ovu namenu, sastoje se od jedinjenja hlora koja mogu da razmenjuju atome sa drugim jedinjenjima, kao što su enzimi u bakterijama i drugim ćelijama. Kada enzimi dođu u kontakt sa hlorom, jedan ili više atoma vodonika u molekulu bivaju zamenjeni sa hlorom. Ovo uzrokuje da ceo molekul menja oblik ili se raspadne [1].

Kada se hlor doda u vodu, stvara se hipohlorasta kiselina:



Da bi se postiglo efikasno hlorisanje vode, količina rezidualnog aktivnog hlora (zaostalog) u vodi koja dolazi do potrošača, treba da iznosi 0,2-0,5 mg/l, i to 30 minuta nakon kontakta hlornog preparata sa vodom (što se i zahteva važećim Pravilnikom o kvalitetu vode za piće).

Koristeći program "Epanet" izvršena je simulacija pada koncentracije hlora kroz cevovod i vreme, uzimajući u obzir pojave kao što su reakcija hlora sa hemijskim vrstama u zapremini tečnosti (kb – global bulking coefficient) i sa zidovima cevi (kw – globak wall coefficient). Koeficijent kb se menja sa kvalitetom vode, a koeficijent kw u zavisnosti od stanja cevovoda i materijala od kojeg je napravljen. Usvojene vrednosti za ove koeficijente, u ovom radu, su sledeće: kb = -0,101 mg/dan i kw = -0,2 mg/dan. Kao što je rečeno ranije, najmanja sigurna koncentracija hlora u vodovodnoj mreži se kreće od 0,2-0,5 mg/l, pa je, kao količina hlora koja kontinualno ulazi u mrežu na mestu PPV-a, usvojena vrednost od 0,5 mg/l. U nastavku će biti prikazani rezultati analize iz „Epanet-a“, za četiri varijantna rešenja sa mapiranim vrednostima promene koncetracije hlora u sistemu.



Slika 5. Šematski prikaz prve varijante sistema sa „mapiranim“ (EPA NET)

## 6. ZAKLJUČAK

Postojeća vodovodna mreža na teritoriji opštine Bačka Palanka je dotrajala, dok je kapacitet bunara nedovoljan da ispuni potrebe adekvatnog snabdevanja vodom. Kvalitet vode ne odgovara „Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće“, izuzevši samu Bačku Palanku, gde se kvalitet vode ocenjuje kao zadovoljavajući. Stoga je kao zadatak ovog rada bilo neophodno predložiti ideje o novom sistemu vodosnabdevanja sa eliminacijom zasterelih azbestcementnih cevi, te i sprovesti odgovarajuće proračune i analize kvaliteta radi realizacije predviđenog.

Varijanta rešenja (četiri) su hidraulički modelovana kao granate mreže, sa svom pratećom hidromašinskom opremom i objektima ( rezervoari i pumpe). Predložena varijantna rešenja su predviđena praćenjem putne infrastrukture, a opredeljenja za najpovoljnije rešenje vrši se po obavljanju analize troškova radova.

## 7. LITERATURA

- [1] Dalmacija Božo, „ Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini“, Novi Sad, 2009.
- [2] Hajdin Georgije, „Mehanika fluida knjiga prva Uvođenje u hidrauliku“, Građevinski fakultet, Beograd, 2002.
- [3] Pisana predavanja, Matija Stipić, „Komunalna hidrotehnika“, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2016.
- [4] EPANET 2.2 - uputstvo za upotrebu, 2020.
- [5] Zvanični sajt opštine Bačka Palanka, <https://backapalanka.rs/> (pristupljeno januara 2021.)

### Kratka biografija:



**Marko Mihajlović** rođen je u Foči 1994 godine. Diplomski radi iz oblasti hidrotehnike odbranio je 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad iz oblasti komulante hidrotehnike brani na istom fakultetu 2021. godine. U periodu između odbrana završnih radova kao priravnik se bavi projektima građevinske infrastrukture.



## IZBOR OPTIMALNOG DINAMIČKOG PLANA ZA IZGRADNJU HOTELSKOG KOMPLEKSA

### SELECTION OF THE OPTIMAL DYNAMIC PLAN FOR A HOTEL COMPLEX CONSTRUCTION

Srđan Ninković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – GRAĐEVINARSTVO

**Kratak sadržaj** – U radu su analizirani dinamički planovi varijantnih rešenja izgradnje hotelsko – turističkog kompleksa "Fruške terme" u Vrdniku. Prikazan je i postupak izbora optimalnog varijantnog rešenja metodama višekriterijumske optimizacije.

**Ključne reči:** Izvođenje, Dinamički plan, Optimizacija

**Abstract** – This paper analyses dynamic plans of variant solutions for tourist hotel complex construction of "Fruške Terme" in Vrdnik. Also, presented here is the procedure of choosing the optimal variant solution by multicriteria optimization methods.

**Keywords:** Performance, Dynamic planning, Optimization

#### 1. UVOD

Predmet ovog rada je sagledavanje mogućnosti načina izgradnje jednog složenog hotelskog kompleksa, praćenje dinamike pojedinih grupa radova za različite objekte unutar celine i njihova međusobna usklađenost u zavisnosti od izabrane jedne od obrađene četiri varijante organizaciono-tehnoloških rešenja koje su u razmatrane daljem tekstu.

Analiza dinamičkih planova varijantnih rešenja izgradnje hotelskog kompleksa ima za cilj razmatranje prednosti i mana određenog pristupa izgradnji, uzimajući u obzir rokove, troškove, broj potrebnih izvršilaca tokom gradnje i dr.

Izbor optimalnih rešenja u složenim dinamičkim sistemima predstavlja veliki izazov s obzirom na svu nepredvidivost i velike rizike koje nosi sa sobom, s toga se radi olakšanja donošenja odluka i smanjenja rizika primenjuje niz naučnih metoda.

U ovom projektu korišćene su sledeće metode:

- tehnika mrežnog planiranja,
- metoda gantograma,
- višekriterijumska optimizacija (metode kompromisnog programiranja i višekriterijumsko rangiranje alternativnih rešenja).

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milan Trivunić, red. prof.

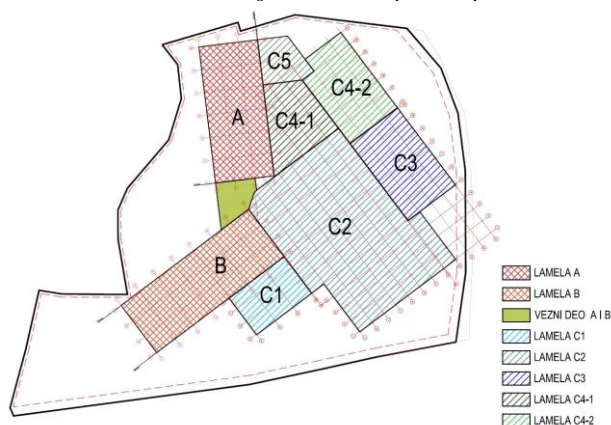
#### 2. OPIS OBJEKTA I USLOVA GRAĐENJA

HOTELSKO - TURISTIČKI KOMPLEKS "FRUŠKE TERME" u Vrdniku.

Spratnost 4Sut+Pr+3+Pk. (suteran1 + suteran2 + suteran3 + suteran4 + prizemlje + 3 sprata + potkrovlje (Pk1 i Pk2)) na katastarskoj parceli broj 2552/8 K.O.

Ukupna BRGP nadzemno iznosi P= 12.886,27 m<sup>2</sup>; ukupna bruto izgrađena površina (podzemno i nadzemno) iznosi P= 32.527,97 m<sup>2</sup>; ukupna neto površina objekta iznosi P= 29.932,24 m<sup>2</sup>. Površina zemljišta pod objektom (sa nadstrešnicom kod glavnog ulaza) iznosi P= 7.886,0 m<sup>2</sup>.

Slika 1. Šema objekata u sklopu kompleksa



Za osnovni konstruktivni sistem je usvojen skeletni armirano betonski sistem.

Kompleks sačinjava više celina - objekata, različite spratnosti, funkcije, oblika i gabarita, koji su međusobno funkcionalno povezani.

Susedni objekti zbog velikih razlika u kotama suteranskih delova, nisu fundirani na istoj koti, što je osnovni postulat fundiranja. Ovo je opet posledica pada terena i položaja objekata na padini.

Objekat "A" i objekat "B", sa spavaćim blokom - sobama za smeštaj gostiju su formirani kao dva glavna višespratna, nezavisna objekta. Oni su postavljeni pod uglom jedan prema drugom, a funkcionalno su spojeni veznim stepenišnim delom. Sa pratećim sadržajima bloka "C" su povezani i čine jedinstvenu funkcionalnu celinu. Položajno deo "C" je lociran ispred ova oba objekta i on je formiran kao niska arhitektonska celina sa bazenima, a kaskadno postavljen, tako da je uklopljen u pad terena, tj. prati teren.

### **3. ANALIZA DINAMIČKIH PLANOVA VARIJANTNIH REŠENJA IZVOĐENJA HOTELSKOG KOMPLEKSA**

Varijantna rešenja koja su u daljem tekstu razmatrana služe za sagledavanje globalne/grube dinamike, potrebnog vremena izvođenja radova kao i uzajamnih veza pojedinih grupa radova kako bi se stvorila slika o realnim mogućnostima roka izvedbe kao i pristupu gradnji ovog složenog kompleksa a sve zbog zadatih kratkih rokova. U grubu analizu su uvrštene sledeće grupe radova: iskopi/osiguranja temeljnih jama; armirano-betonski radovi; zidarski radovi; pokrivački radovi i suvomontažni radovi.

Za sve varijante koje su obrađene radovi počinju 04.06.2018. godine što je bilo vreme kada su radovi u stvarnosti zaista i otpočeli. Pored ostalog u varijantama je razmotren zimski period zbog radova na otvorenom kao i zahtevi investitora da hotelski kompleks bude otvoren u avgustu 2019. godine i da kompletna konstrukcija bazenskog dela bude gotova do sredine novembra 2018. godine zbog montaže inoksnih bazena koji su stizali iz inostranstva.

#### **3.1. Varijantno rešenje 1**

Početak analiziranih aktivnosti 04.06.2018. godine; završetak 25.05.2019. godine.

Ovo varijantno rešenje je bilo predviđeno projektom, kao i detaljnom razradom plana iskopa koje ga uslovljava, kao optimalno u datom trenutku a prihvaćeno i od strane izvođača radova pod rokovima koji su bili zadati ali koje je zato podrazumevalo izrazito dobru organizaciju rada jer nije bilo mnogo prostora za vremenska odstupanja aktivnosti od isplaniranog okvira.

Podrazumeva izgradnju kompleksa od najniže etaže '-4' (od najniže tačke ka najvišoj), objekti 'C1' i 'C2', što je i jedan od osnovnih postulata izgradnje posebno na ovakvom vidu terena u planinskom predelu, usecanje u kosinu padine. Sa stanovišta izgradnje AB konstrukcije, kao i sa stanovišta bezbednosti na radu ovaj vid izgradnje je najracionalniji.

Preliminarna dinamika grubih radova pokazala je da se kompleks može završiti do zahtevanog roka, ali nije uzimala u obzir nepredviđene okolnosti do kojih je došlo kasnije u toku izgradnje. Naime, u geomehničkom elaboratu naznačeno je da su istraživanja pokazala da nivo podzemne vode neće predstavljati problem za izradu objekata s obzirom da je niži od kote potrebnog iskopa za temelje kao i da je sastav zemlje takav da je mala verovatnoća pojave klizišta, što nije bio slučaj ni za jednu od dve stavke. Pojava klizišta i pored predloženog nagiba kosina škarpi a i nakon dodatnog obaranja nagiba bila je neminovna.

Pored toga, vremenski uslovi u leto 2018. godine prilikom iskopa bili su jako nepovoljni u smislu konstantnih kiša koje su onemogućavale iskop, posebno na ovako glinovitom tlu i na površini kompleksa te veličine gde kamioni za odvoz zemlje nisu mogli prilaziti.

Prethodno pomenuto imalo je za posledicu da su se radovi na samoj izradi AB konstrukcije drastično prolongirali, čime i samo temeljenje svih pojedinih objekata nije bilo

završeno do zime koja je takođe donela nove izazove i produžila vreme izvođenja.

Jedan od zahteva investitora bio je i rok za završetak objekata u bazenskom delu jer su sami inoksnih bazeni stizali iz inostranstva kao i stručni kadar, što je predstavljalo značajnu novčanu stavku u celokupnoj finansijskoj strukturi i nije bilo previše mogućnosti za odstupanje. Sa tog stanovišta i pored odstupanja u izgradnji ostalih delova kompleksa pre svega smeštajnih kapaciteta, ovaj bazenski deo je izgrađen u roku (sredina novembra 2018. godine), s obzirom da je i podrazumevao potrebu za izgradnjom prvo najnižih delova kompleksa, što je svakako bilo uslovljeno ovim pristupom gradnje.

#### **3.2. Varijantno rešenje 2**

Početak analiziranih aktivnosti 04.06.2018. godine; završetak 16.03.2019. godine.

Varijanta 2 podrazumeva primarno izgradnju hotelsko-smeštajnog kapaciteta s obzirom da je on najzahtevniji po pitanju potrebnog vremena za izradu svih etaža kao i završnih radova koji ih prate.

Dinamički plan ove varijante pokazao je da je za njen završetak potrebno najmanje od ostalih varijanti, 286 kalendarskih dana što je jedan od bitnijih faktora za zadate uslove.

Ovim planom se odmah nakon iskopa zemlje za podzemni deo '-2' kreće sa temeljima lamele 'A' kao i ostalih objekata koji se temelje na ovom nivou iskopa, 'C5', delimično 'C4-1' i 'C4-2'. Potom se nakon izrade vertikalnih elemenata ovih objekata kreće sa radovima na osiguranju temeljnih jama za objekte koji se temelje na etaži niže '-3', prevashodno objekti za smeštajni kapacitet, lamela 'B' i 'Vezni deo A-B'.

Osiguranje temeljnih jama se vrši podgradama i zahtevalo bi za ovaj vid terena i složenost kompleksa veoma detaljan plan i razradu kako bi se svi procesi rada uskladili a bezbednost radnika zadovoljila stroge kriterijume. Stepen podgrađivanja za ovu varijantu je najzahtevniji, sa obzirom da bi se prvo radile podgrade za suterensku etažu '-3' a potom nakon izrade temelja i vertikalnih elemenata ove etaže pristupilo bi se osiguranju temeljne jame najniže etaže '-4' - objekti 'C1' i 'C2'.

U odnosu na varijantu 1 gde je bilo problema sa iskopom zbog padavina i klizista ovde to ne bi bio slučaj s obzirom da gradnja kreće odmah, temeljenje prati iskop.

Uslov da kompletna AB konstrukcija bazenskog dela bude gotova do sredine novembra 2018. godine prekoračena je za preko dvadeset dana (završetak 08.12.2018. godine) što nije malo prekoračenje posebno ukoliko bi došlo do nekih dodatnih odstupanja u realnim uslovima gradnje na terenu.

Kako su završni radovi najzahtevniji na hotelskim krilima, ovom varijantom bi se oni prioritizovali na ovim delovima a samim tim bi se rokovi za završetak skratili. Međutim, ovo podrazumeva i da su pozicije rada otvorene za veliki broj izvršilaca odjednom. Ovakav potencijal bi se maksimalno mogao iskoristiti jedino u slučaju da ne postoji manjak izvršilaca za ove grupe radova.

### 3.3. Varijantno rešenje 3

Početak analiziranih aktivnosti 04.06.2018. godine; završetak 23.03.2019. godine.

Ovim varijantnim rešenjem se postiže izrada svih objekata -3 suterenskog nivoa odjednom, lamela 'B', 'Vezni deo A-B', 'C4-1', 'C4-2', 'C3'. Otvara se front rada na više mesta jer objekti na ovom nivou nisu svi jedan uz drugi.

Kreće se sa izradom hotelskih krila kao prioriternim takode kao u varijanti 2, s obzirom na mali produžetak iskopa za lamelu 'B' koja na -3 nivou ima prioritet, ali se postiže to da nema podgrada za ovaj nivo što umnogome smanjuje potencijalne probleme i rizike koje donosi osiguranje temeljnih jama i uklanjanje vreme potrebno za njihovo izvođenje.

Bazenski delovi se ostavljaju za kraj, kao najmanje prioriterni u ovom slučaju, ali se i pored toga kompletni radovi na AB konstrukciji završavaju do 01.12.2018. godine što je dve nedelje produžetka roka od zahtevanog ali je u granicama razumnog i svakako bi se planovi za montažu inoksnih bazena za toliki period mogli produžiti, a ova pozicija svakako nije na kritičnom putu u pogledu generalne dinamike za ceo kompleks jer ne sadrži veliki broj etaža poput smeštajnih krila.

Potreba za osiguranjem temeljnih jama nije velika kao u varijanti 2 (osiguranje samo suterenskog nivoa -4, što u suštini polovi radove vezane za ovu poziciju), dok je u odnosu na varijantu 4 i dalje značajno veća.

Kao i u varijanti 2 ovim pristupom gradnji otvara se prostor za angažman velikog broja izvršilaca na završnim radovima odjednom, s tim da za razliku od varijante 2 postoje otvorene pozicije i za radove na ostalim objektima -3 nivoa što bi moglo biti jako značajno ukoliko postoji dovoljno radne snage da se rasterete frontovi rada za objekte koji kasnije dođu na red npr. 'C2' i 'C1'.

### 3.4. Varijantno rešenje 4

Početak analiziranih aktivnosti 04.06.2018. godine; završetak 08.06.2019. godine.

Kao i u varijanti 3, nakon iskopa do nivoa -3 kreće se prvo sa izradom lamele 'B' i 'Veznog dela' - drugog smeštajnog krila kao prioriternog, a potom se prelazi na nivo -4.

Ostali objekti koji se temelje na ovom nivou se trenutno zanemaruju kao neprioriterni 'C3', 'C4-1' i 'C4-2'. Razlika u odnosu na varijantu 3 je to što se umesto prebacivanjem prioriteta na izradu hotelskog krila - lamela 'A' prioritet stavlja na izradu bazenskih objekata.

Ovim varijantnim rešenjem se postiže kompromis u smislu zahteva investitora da se što pre krene sa izradom hotelskih krila (delimično - lamela 'B') kao i bazenskih objekata.

Završetak radova na AB konstrukciji bazenskog dela planiran za 24.11.2018. godine odstupa samo 9 dana od zadatog roka što ne bi trebao biti problem u blagom odlaganju radova na izradi bazenske tehnike.

Ovakva izgradnja takode uključuje osiguranje temeljnih jama suterenske etaže -4 podgradama ali to samo za objekte 'C1' i 'C2' čime su radovi na ovom delu u velikoj meri rasterećeniji od varijanti 2 i 3.

Varijanta 4 je sa stanovišta završnih radova najpogodnija za organizaciju i planiranje, najveći je razmak u izradi lamela 'A' i 'B' koje su najzahtevnije u ovom pogledu, čime se dobija prostor za bolju organizaciju radova kao i manipulacija manjeg broja izvršilaca ukoliko je to neizbežan slučaj.

### 3.5. Komparacija varijanti i ocena pouzdanosti rešenja

Varijanta 2 i varijanta 3 su se sa svojih 286 i 293 kalendarskih dana pokazale kao varijante sa najkraćim rokom za završetak objekta. Upoređujući obe, varijanta 3 deluje kao pogodnije rešenje od varijante 2 sa stanovišta roka završetka svih temelja, završetka AB radova na bazenskom delu, otvorenošću pozicija za završne radove u startu, kao i iz pogleda obezbeđenja temeljnih jama gde je u ovoj varijanti u odnosu na varijantu 2 prepolovljena potreba za podgrađivanjem. U ostalim karakteristikama su prilično izjednačene ali je u skladu sa prethodno rečenim jasna superiornost varijante 3.

Sa stanovišta otvaranja bazenskih objekata kao prioriternih, varijanta 1 jedina poštuje početni zadati rok, mada i varijante 3 i 4 ne odstupaju drastično.

Uzimajući u obzir završavanje temelja u što skorijem roku zbog potencijalnih odrona, lošeg vremena, zimskog perioda, varijanta 3 je neprikosnoveno najpogodnija jer je vremenska razlika u odnosu na završetak temelja sledeće najkraće varijante u ovom pogledu više od dva meseca.

Varijanta 4 iako najdužeg roka izvođenja ima prednost u odnosu na ostale jer predstavlja kompromis između zahteva za izradu barem jednog hotelskog krila kao i bazenskog dela. Ova varijanta je takode i najracionalnije strukture u pogledu završnih radova jer je najduži razmak između izgradnje dva hotelska krila koja zahtevaju angažman velikog broja izvršilaca na završnim radovima.

Varijanta 1 koja predstavlja standardan princip izgradnje 'od dole ka gore', nakon kompletnog iskopa koji su zahtevali uslovi predmetnog objekta i terena, ima svoje prednosti u smislu izbegavanja podgrada a samim tim i većeg nivoa bezbednosti na radu. Uz to, ona je i najracionalnija sa finansijske strane. Iako je prvobitno zadovoljila rokove tokom planiranja, mada su bili strogo fiksni bez previše prostora za odstupanja, pokazala se u praksi kao pogrešna u smislu poštovanja roka jer je uz vremenske uslove koji su bili izrazito nepovoljni ostavila i 'gole' iskope dugo vremena pa je to uz ostale faktore napravilo dosta problema zbog pojave odrona i klizišta.

Od svih faktora koji utiču na pouzdanost u izboru optimalnog rešenja, za ovaj rad je izrazito značajan faktor građevinske mehanizacije, jer kompleks sadrži četiri suterenske etaže a dilatirani objekti koji čine celinu su temeljeni na različitim nivoima. S toga se kao kriterijum u primeni metode višekriterijumske optimizacije u iznalaženju optimalnog rešenja našla i ocena pouzdanosti mehanizacije za varijantna rešenja (ocene u opsegu od 1 do 5; 1 - najbolja ocena).

Poduhvat iskopa za kompleks bio je izuzetno zahtevan. Iskop preko 70.000 m<sup>3</sup> zemlje u planinskom predelu na kosini nosio je sa sobom veliki rizik od pojave klizišta, kao i nepristupačnih gradilišnih prilaza za transportne mašine zbog potencijalnog zaglavljivanja, proklizavanja,

prevrtanja i dr. Sastav tla je veoma nepogodan jer je glinovito pa uslet kiša sporo se suši i lepi za gume čime sprečava kretanje mašina na pneumatike.

Rešenjem predstavljenim u varijanti 1 iskopu celokupne površine pod kompleksom se pristupa odjednom, gde je u startu potreban veliki broj mašina, njihovo kvalitetno koordinisanje i praćenje radova. U ovakvom scenariju, kada izgradnja počinje od najniže etaže, od izuzetne je važnosti što pre doći do nivoa od kog se prvo temelji zbog poštovanja rokova. Svaka nepredviđena okolnost drastično može da utiče na produžetak roka, kao što se i pokazalo, jer pri lošim vremenskim uslovima a pri otvorenoj celoj površini za iskop stopira se ceo proces rada jer vrsta tla i postavka terena ne dozvoljavaju dalji rad dok se dobro ne osuši tlo, tako da staju sve aktivnosti. Iz ovog ugla, daleko su povoljnije varijante 2 i 3 gde se prvobitni iskop vrši samo do nivoa -2 i -3 a nakon toga se nastavlja sa radovima na iskopu kada se završe zidovi prvih nivoa.

U ovom slučaju i ako dođe do stopiranja radova na daljim iskopima otvorene su pozicije rada na drugim frontovima. Za razliku od varijante 1 gde nema potrebe za podgradama, u ostalim varijantama je iz tog razloga i mehanizacija proširena, što podrazumeva veći broj mašina, njihovih kombinacija kao i veći stepen zahtevnosti radova, ali se ne pristupa radu odjednom nego u fazama tako da je delimično rasterećen iskop, što u dalekoj meri olakšava organizaciju.

Varijanta 4 uz varijantu 1 najmanje je pogodna sa stanovišta pouzdanosti mašina jer podrazumeva proces iskopa koji je u skoro istoj meri intenzivan od starta, pored toga ima potrebu i za izradom podgrada a samim tim i uvođenja dodatnih kombinacija mehanizacije za nivo -4, mada daleko manje od varijanti 2 i 3.

#### 4. METODE I IZBOR OPTIMALNOG REŠENJA

Izbor optimalnog varijantnog rešenja za pristup građenju predmetnog kompleksa je analiziran metodama višekriterijumske optimizacije: metoda kompromisnog programiranja i metoda višekriterijumskog kompromisnog rangiranja alternativnih rešenja, razmatrajući relevantnu značajnost kriterijuma uvođenjem težinskih koeficijenata.

Težinski koeficijenti analizirani su kroz četiri iteracije gde je svakom od kriterijuma dodeljena dominantna pozicija u odnosu na druge.

U analizi učestvuju četiri kriterijuma od kojih su tri vremenska a četvrti predstavlja ocenu pouzdanosti mehanizacije kao bitan faktor zbog obimnosti radova na iskopu.

- f1** - Ukupno vreme za izvođenje kompleksa (dan);
- f2** - Ukupno vreme završetka bazenskog dela (dan);
- f3** - Ukupno vreme završetka svih temelja (dan);
- f4** - Pouzdanost mehanizacije (ocena).

Tabela 1. Ulazni podaci za optimizaciju

| krit. f. / alter. | A1  | A2  | A3  | A4  |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| f1                | 356 | 286 | 293 | 370 |
| f2                | 160 | 188 | 181 | 174 |
| f3                | 160 | 93  | 97  | 174 |
| f4                | 5   | 3   | 2   | 4   |

Na osnovu rezultata proračuna metodama višekriterijumske optimizacije može se zaključiti da je najpovoljnije (optimalno) rešenje varijanta 3, bez obzira na nivo važnosti kriterijuma postignutog preko dodeljenih težinskih koeficijenata.

Tabela 2. Pregledno rangirana rešenja po varijacijama težinskih koeficijenata

| Iteracija br. (redosled rešenja) | Iteracija 1 |    |    |    | Iteracija 2 |    |    |    | Iteracija 3 |    |    |    | Iteracija 4 |    |    |    |
|----------------------------------|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|
| alternativno rešenje:            | A1          | A2 | A3 | A4 | A1          | A2 | A3 | A4 | A1          | A2 | A3 | A4 | A1          | A2 | A3 | A4 |
| v=0                              | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  |
| v=0.3                            | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  |
| v=0.6                            | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  |
| v=0.9                            | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  | 3           | 2  | 1  | 4  | 4           | 2  | 1  | 3  |
| v=1.0                            | 3           | 2  | 1  | 4  | 3           | 2  | 1  | 4  | 3           | 2  | 1  | 4  | 3           | 2  | 1  | 4  |

#### 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno iznetog, svaka od varijanti ima svoje prednosti i mane. Klasično rešenje predstavljeno u varijanti 1, koje je bilo predviđeno i projektom, pokazalo se u realnosti kao pogrešno, što je ukazalo da se nije dovoljno truda posvetilo samom razmatranju potencijalnih načina izgradnje, mada su i geomehnička istraživanja podbacila u svojim nalazima i oceni.

Prema svim ključnim stavkama koje su prikazane ovim radom varijanta 3 se pokazala kao najpovoljnije rešenje u generalnoj situaciji na terenu jer je sa stanovišta pouzdanosti mehanizacije najpogodnija, uz to daje prioritet na izradu hotelskih krila za koje i jeste potrebno najviše vremena za izradu, na kritičnom su putu, a ukoliko bi i došlo do odlaganja radova na bazenskom delu bila bi to manja šteta jer ovi radovi nisu kritični u pogledu završetka do otvaranja hotelskog kompleksa. Primenom metode višekriterijumskog kompromisnog rangiranja alternativnih rešenja pokazalo se da bez obzira na način zadavanja težinskih koeficijenata pojedinim kriterijumima varijanta 3 je zaista i optimalna.

#### 6. LITERATURA

- Trivunić, M., Matijević, Z.: „Tehnologija i organizacija građenja“- praktikum, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2009.
- Trivunić M., Dražić J., Matijević Z.: „Modeliranje procesa građenja“, FTN Institut za građevinarstvo, Novi Sad 2005.
- Trbojević, B.: „Organizacija građevinskih radova“, Naučna knjiga, Beograd, 1991
- Opricović, S.: „Optimizacija sistema“, Građevinski fakultet, Beograd 1992.
- Opricović, S.: „Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu“, Građevinski fakultet, Beograd 1998.

#### Kratka biografija:



**Srđan Ninković** rođen je u Šapcu 1990. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Organizacija i tehnologija građenja odbranio je 2021.god.



**PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA VIŠESPRATNE STAMBENE ZGRADE KOJA JE IZGRAĐENA PRIMENOM IMS TEHNOLOGIJE****ASSESSMENT AND ENERGY REHABILITATION OF A MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDING THAT WAS BUILT BY IMS TECHNOLOGY**

Jelena Anđelić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – Građevinarstvo**

**Kratak sadržaj** – Rad se sastoji iz dva dijela, teorijsko-istraživačkog i praktičnog. U teorijsko-istraživačkom dijelu je obrađen montažni sistem gradnje sa posebnim osvrtom na industrijski montažni sistem IMS. U praktičnom dijelu urađena je procena stanja višespratne stambene zgrade u Novom Sadu. Zatim je urađen proračun energetske efikasnosti za postojeće stanje objekta. Nakon predloženih mjera energetske sanacije ponovo je urađen proračun energetske efikasnosti zgrade. Na kraju, upoređeni su rezultati ova dva proračuna.

**Ključne reči:** Montažna gradnja, IMS, Energetska efikasnost, Sanacija, Knauf insulation

**Abstract** – The paper consists of two parts, theoretical-research and practical. In the theoretical research part, the prefabricated construction system is analyzed with a special reference to the industrial prefabricated system IMS. In the practical part, an assessment of the condition of a multi-store residential building in Novi Sad was done. Then, an energy efficiency calculation was carried out for existing condition of building. After the proposed energy rehabilitation measures, the calculation of the energy efficiency of the building was done again. Finally, the results of these two calculations were compared.

**Keywords:** Prefabricated construction system, Energy efficiency, Rehabilitation, Knauf Insulation

Pod otvorenim montažnim sistemom podrazumijevaju se elementi univerzalnog karaktera (modularna i tipska ograničenja), a pod zatvorenim se podrazumijevaju elementi upotrebljivi samo za određenu proizvodnju. Poređenjem brzine montažne i in-situ (monolitne) gradnje, dolazi se do zaključka: In-situ gradnja zahtijeva manju količinu vangradilišnog rada, što praktično rezultira linearnom brzinom gradnje.

Montažna gradnja zahtijeva veliku količinu vangradilišnog rada prije početka izgradnje objekta ali postiže veliku brzinu gradnje nakon završetka pripremnih radova i obezbijeduje manju količinu završnih radova.

Prednosti industrijskog načina gradnje su: smanjenje količine fizičkog rada, brža gradnja objekta, produženje građevinske sezone na skoro cijelu godinu, ušteda drvene građe za oplatu, postizanje boljeg i ravnomjernijeg kvaliteta elemenata i konstrukcije, povećanje sigurnosti i trajnosti objekta i niza drugih.

S druge strane, ovakav način građenja zahtijeva veće početne investicije (oprema za prefabrikaciju), kvalifikovanu radnu snagu, skupu i sofisticiranu mehanizaciju, skup transport elemenata i problemi transporta, problemi montaže, monolitizacije i popustljivosti veza.

Montažna gradnja može naći primjenu kod elemenata teških nekoliko kilograma do elemenata teških više tona, objekata niskogradnje, visokogradnje i hidrogradnje. Mogu se koristiti kao konstruktivni, nekonstruktivni, ukrasni elementi, itd. [1] [8].

**1. UVOD****1.1. Montažna gradnja**

Tendencija u savremenom građevinarstvu je masovna izgradnja objekata različitih namjena. Ostvarivanje ove tendencije moguće je samo na principima industrijskog načina proizvodnje, što uslovljava industrijalizaciju i prefabrikaciju u građevinarstvu.

Montažna gradnja podrazumijeva proizvodnju dijelova odnosno prefabrikata u povoljnim (fabričkim) kontrolisanim uslovima proizvodnje ili proizvodnje na gradilištu u slučaju teških elemenata i njihovo spajanje na gradilištu (Slika 1.)

Montažni sistem predstavlja skup montažnih elemenata koji se međusobnim povezivanjem pretvara u konstruktivnu cijelinu i može biti otvoren i zatvoren.



Slika 1. Pogon i oprema za prefabrikaciju [8]

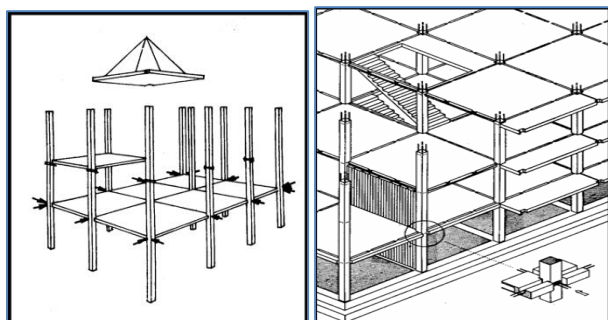
**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

## 1.2 Industrijski montažni sistem - IMS

Jedan od najčešće korišćenih montažnih sistema kod nas kada je u pitanju stambena izgradnja i gradnja poslovnih objekata je IMS sistem od prednapregnutog betona. IMS sistem je zamišljen i ostvaren u Institutu za ispitivanje materijala u Beogradu 1956. godine. Osnovna ideja IMS sistema jeste u konstrukciji minimalnog broja konstruktivnih elemenata od kojih je moguće sastaviti veliki broj različitih objekata. Ova raznolikost se ogleda kako u osnovama objekata, tako i u njihovim visinama (spratnim). Težnja da se prelaskom na montažnu gradnju ne izgubi ni jedna dobra karakteristika klasično građenih armiranobetonskih konstrukcija u potpunosti je zadovoljena primjenom prednaprezanja kao načina povezivanja elemenata u monolitnu cjelinu. Ovako koncipiran montažni sistem omogućio je vrlo široku primjenu počev od stambenih zgrada, škola, bolnica, hotela, poslovnih objekata, do industrijskih objekata, magacina i dr. [1].

Konstrukciju sistema IMS čine montažne ćelije kvadratnog ili pravougaonog oblika, dimenzija od 3,0 m x 3,0 m do 7,2 m x 7,2 m. Ćeliju formiraju četiri stuba i jedna kasetirana tavanica ploča između njih (Slika 2.). Ovo su ujedno i osnovni elementi koji prihvataju vertikalno opterećenje. Povezivanje stubova i tavanica u monolitnu cjelinu postiže se kablovima za prednaprezanje. Prihvatanje horizontalnih sila vjetrova i seizmičkih potresa povjerenjeno je prvenstveno betonskim platnima za ukrućenje, a dijelom i skeletu konstrukcije.



Slika 2. Koncept konstrukcije IMS sistema [1]

Osim ovih nosećih elemenata, postoje i drugi elementi čija je uloga da upotpune konstrukciju i omoguće njeno normalno korišćenje. Kompletan konstrukcija IMS sistema sastoji se od sledećih elemenata: primarni elementi – noseći dijelovi konstrukcije (stubovi, tavanice ploče, armiranobetonska platna za ukrućenje, stepeništa, ivični nosači); sekundarni elementi – nenoseći dijelovi konstrukcije (fasadni elementi, pregradni zidovi, sanitarni blokovi, kuhinjske kabine); tercijarni elementi (obloge, stolarija i sl.).

Primjenjuju se gotovo svi načini fundiranja koji se inače koriste kod višespratnih zgrada (temelji samci, temeljenje na pločama, na temeljnim roštiljima, kao i na šipovima). Dobra osobina IMS konstrukcije je što nije jako osjetljiva na nejednaka slijevanja oslonaca, ali u slučaju izraženog slijevanja ovu činjenicu proračunom ne treba zanemariti.

Montaža elemenata montažno skeletne konstrukcije izvodi se kranovima ili pokretnim dizalicama kod nižih objekata (Slika 3.). Redoslijed montaže je sledeći: prije montaže stubova mora se sprovesti kontrola položaja

ankernih rupa u temeljima, odnosno položaj ispuštenih ankera iz temelja; potom se montiraju stubovi; nakon što su montirani stubovi mogu se montirati tavanice; zidovi za ukrućenje se montiraju nakon montaže i utezanja donjeg nivoa tavanica, a prije montaže gornjeg nivoa.



Slika 3. Montaža elemenata IMS sistema [8]

## 2. PROCENA STANJA OBJEKTA

### 2.1 Tehnički opis

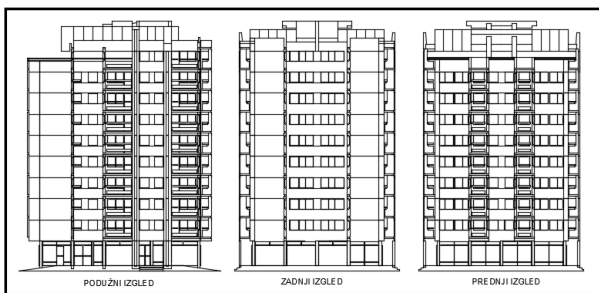
Objekat se nalazi u Novom Sadu na adresi Partizanskih brigada br.4. Objekat pripada I etapi stambenog bloka na Novom Naselju koja je građena 1977. godine.

Objekat je približno kvadratne osnove dimenzija 21,70 m x 17,50 m i spratnosti P+8+potkrovlje. Ulaz u objekat je sa dvije strane. Jedan ulaz sa prilaznom rampom i četiri stepenika se nalazi na zapadnoj a drugi ulaz na istočnoj strani (Slika 4.).

Prizemlje se sastoji iz ulaznog vjetrobrana, prostorije za odlaganje bicikala, deponije smeća i društvenih prostorija (lokali, servisi, zanatske radionice, manji kulturni i ugostiteljski punktovi). Javne i zajedničke prostorije prizemlja imaju čistu (korisnu) visinu od 3,0 m. Vertikalna komunikacija se sprovodi pomoću jednokrakog stepeništa i dva lifta. Jedan lift je nosivosti 300 kg namijenjen za 4 osobe, a drugi je nosivosti 450 kg i namijenjen je za 6 osoba. Sadržaj i strukturu tipskih spratova čine: trosoban stan, dvosoban i jednosoban stan.

Svaka tipska etaža broji po dva tipska stana, što je ukupno 48 stanova  $P=2820,80 \text{ m}^2$ . Strukturu potkrovlja čine garsonjera i dva različita dimenzija jednosobna stana. Potkrovlje broji po dva tipska stana svake vrste, odnosno 6 stanova  $P=214,12 \text{ m}^2$ .

Konstruktivni sistem zgrade je skeletna konstrukcija sastavljena od montažnih stubova i tavanica ploča. Spajanje ova dva elementa u skeletnu konstrukciju izvršeno je prednaprezanjem. Konstrukcijski raster stubova je 4,20 m x 4,20 m. AB montažni stubovi su izvedeni kao dvoetažni i troetažni, presjeka 34 cm x 34 cm. IMS međuspratna tavanica je izvedena kao kasetirana tavanica sa ortogonalnim sistemom sekundarnih nosača (tavanica sa gornjom betonskom pločom i rebrima). Ivični nosači su rađeni kao primarni i kasnije su utegnuti kablovima za prednaprezanje. Debljina IMS međuspratne tavanice je 22 cm (betonska ploča 4 cm + rebro 18 cm). Konzolne tavanice su raspona 1,50 m i za datu osnovu objekta su zastupljene u maksimalnom broju dvadeset normalnih + četrnaest konzolnih tavanica.



Slika 4. Izgledi višespratne stambene zgrade

Fundiranje zgrade je izvršeno na AB ploči  $d=40$  cm, koja je ojačana unakrsnim AB gredama 100/50 cm.

## 2.2 Vizuelni pregled objekta i analiza uočenih oštećenja

Kako je objekat u funkciji (u trenutku vizuelnog pregleda), bilo je moguće pristupiti samo pojedinim dijelovima objekta. Provjerene su dimezije dostupnih elemenata i konstrukcije i njihova usklađenost sa projektom predviđenim dimezijama (stubovi u prizemlju, stubovi na ulazu u objekat, stepenište kao i pojedini zidni paneli i stubovi koji se nalaze u hodnicima svih etaža). Vizuelnim pregledom se provjeravaju dimenzije konstruktivnih elemenata i geometrija objekta. Registruju se i klasifikuju vidljivi defekti i oštećenja, a potom se vrši njihova sistematizacija i određuje uzrok njihovog nastanka, odnosno formira se zaključak o stanju konstrukcije [7].

### 2.2.1 Glavna fasada objekta - spoljašnjost objekta

Pregledom prilaznih elemenata objekta i uporedbom izvedenog stanja i stanja datog u dostupnoj projektno-tehničkoj dokumentaciji uočena je razlika kod pristupnih rampi. Na izvedenom stanju date rampe se ne pružaju cijelom dužinom fasade, nego se završavaju sa stepeništem. Na prilaznom stepeništu uočeni su tragovi odlamanja i otpadanja obloge, dok na prilaznim rampama uočena su oštećenja u obliku ispucalog betona usljed dugotrajne izloženosti dejstva mraza, zatim mehanička oštećenja i biološka korozija.

Na zidnim panelima prizemlja obloženim fasadnom opekama uočena su mjestimična ljuskanja dekorativnog premaza fasadne opeke, kao i mehanička oštećenja u vidu odlamanja dijelova opeke. Na prefabrikovanim dekorativnim betonskim panelima prizemlja vizuelnim pregledom su uočeni defekti i oštećenja koji kako narušavaju trajnost tako i estetiku samih elemenata. Na zidnim panelima viših spratova uočene su mrlje kako od klima uređaja koje ispuštaju vodu i vlaže zidne panele tako i od atmosferske vlažnosti koja se sliva sa ravnog krova na panele i ispiraju dekorativnu boju sa betonskih panela. Karakteristična je pojava biološke korozije na vrhovima panela poslijednjeg sprata kao i sprata niže. Uočena je pojava horizontalnih, dijagonalnih prslina i pukotina kao i mreža ortogonalnih prslina na većini zidnih panela nezavisno od spratnosti. Pojava spomenutih prslina i pukotina je posljedica prefabrikacije usljed termičke obrade (zaparivanja elemenata u cilju ubrzanog očvršćavanja) elemenata. Pored spomenutih mrlja od vlage koje se smanjuju sa etažama, uočene su mrlje koje su posljedica difuzije vodne pare i koje su vidljive skoro na svim etažama.

Na ivičnim balkonskim prefabrikovanim panelima uočena je korozija armature, koja je posljedica defekta – nedovoljne debljine zaštitnog sloja betona i naizmjeničnog vlaženja površine elemenata sa obe strane.

### 2.2.2 Unutrašnjost objekta

Pregledom unutrašnjosti objekta (prostorije kojima je bio omogućen pristup) izvršeno je poređenje izvedenog stanja sa stanjem datim u dostupnoj projektno-tehničkoj dokumentaciji. Nisu uočene nikakve razlike tj. izvedeno stanje se poklapa sa projektovnim. U predulaznom prostoru vizuelnim pregledom uočena su mehanička oštećenja u blizini ulaznih vrata pojava prslina i pukotina na spoju zida sa spušenim plafonom.

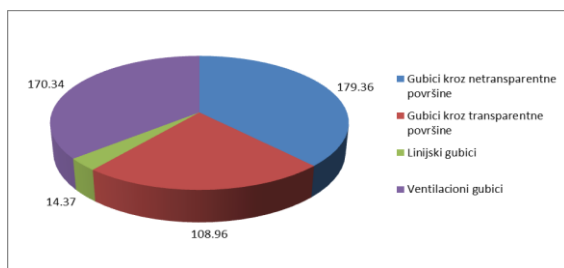
Pregledom hodnika u prizemlju uočeno je ljuskanje obloge zida i plafona na mjestu pojave vlage koja je uslijedila nakon pucanja instalacija u kupatilu stana koji se nalazi neposredno iznad. Na stepenišnom kraku sa donje strane uočena je rupičasta površina u vidu ljuskanja dekorativnog premaza. Na azbestnim pločama uočena su i mehanička oštećenja nastala usljed čestog otvaranja i zatvaranja istih u svrhu popravljivanja instalacija koje se nalaze iza njih. Pregledom potkrovlja uočeno je otpadanje zaštitnog sloja maltera i otkrivanje zida od opeke. Zidovi potkrovlja su izloženi vlaženju usljed slivanja vode sa krova, iz tog razloga je došlo do bubrenja zaštitnog sloja maltera i njegovo naknadno otpadanje [7].

### 2.3 Zaključak o stanju objekta

Analizom registrovanih oštećenja, može se zaključiti da ni jedno od oštećenja ne možemo smatrati glavnim. Svaki od navedenih uzroka oštećenja je uglavnom u sprezi sa drugim uzrocima koji zajedno dovode do spomenutih oštećenja. S obzirom da je zgrada izgrađena 1977. godine i da ulazi u svoju 44.-u godinu postojanja, bez informacija o sanacijama u bliskoj prošlosti zaključuje se da je trajnost objekta smanjena, dok stabilnost i nosivost nisu narušene. Funkcionalnost zavisi od stepena održavanja objekata. S obzirom da je u pitanju primarno stambeni objekat sa poslovnim prostorom u prizemlju, stepen funkcionalnosti je zadovoljavajući.

## 3. ENERGETSKA EFIKASNOST - POSTOJEĆE STANJE

Proračun je u svemu sproveden prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada „Službeni glasnik RS“ br. 061/2011 [2]. Elementi konstrukcije su najpre podjeljeni na transparentne i netransparentne u zavisnosti od slojeva i položaja ovih elemenata. Definirano je 14 netransparentnih i 13 transparentnih pozicija. Za svaku od pozicija urađen je proračun građevinske fizike koji podrazumjeva određivanje koeficijenata prolaza toplote, a za netransparentne sklopove određeni su: raspored temperatura, minimalna otpornost sklopa, difuzija vodene pare i parametri letnje stabilnosti. Svi analizirani sklopovi su imali veći koeficijent prolaza toplote od pravilnikom propisane vrednosti. Nakon izvršenog proračuna za svaku poziciju, pristupilo se proračunu toplotnih gubitaka i dobitaka zgrade kao cjeline, u cilju određivanja potrebne energije za obezbeđenje osnovnih uslova komfora. Proračunati gubici toplote prikazani su na Slici 5.



Slika 5. Gubici toplote, postojeće stanje

Na kraju, proračunata je ukupna potrebna energija za grijanje zgrade na godišnjem nivou, na osnovu kojeg je zgrada svrstana u energetske razred G.

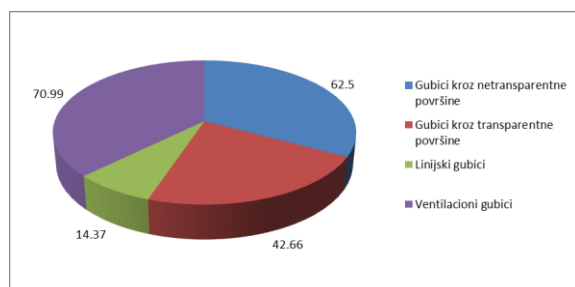
#### 4. ENERGETSKA SANACIJA I ENERGETSKI RAZRED SANIRANOG OBJEKTA

Pored toga što nijedan od elemenata nije zadovoljio propisane vrednosti koeficijenta prolaza toplote, utvrđeno je i da veliki broj elemenata ima malu termičku masu, pa je izborom termoizolacije povećana i termička masa problematičnih elemenata. Potrebne debljine termoizolacionih materijala poračunate su iz uslova da najkritičniji sklop ispuni uslov za najveći dozvoljeni koeficijent prolaza toplote.

Za termoizolaciju spoljašnjih zidova izabrana je kamena vuna debljine 8 cm, koja je u sklopu ETICS sistema fasade. Za termoizolaciju unutrašnjeg zida izabrana je Multipor ploča debljine 7,5 cm, proizvođača YTONG.

Kao novo rešenje za zamenu dotrajalih slojeva ravnog krova, usvojen je neprohodni ravan krov proizvođača Knauf Insulation, sa termoizolacijom od kamene vune debljine 18 cm. Za parnu branu usvojen je Knauf LDS 200 [6]. Stolarija je potpuno zamenjena dvostrukim niskoemisionim staklom 4-12-4 mm punjenim kriptonom sa 6-komornim PVC okvirima.

Ponovnim proračunom dobijeni su mnogo bolji rezultati, (Slika 6).



Slika 6. Gubici toplote, sanirani objekat

Daljim proračunom utvrđeno je da objekat pripada energetskom razredu C.

#### 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata vizuelnog pregleda i analizom registrovanih oštećenja i defekata utvrđeno je da su nosivost i stabilnost objekta zadovoljavajući, dok je trajnost smanjena u mjeri koja je proporcionalna sa vijekom trajanja. Funkcionalnost objekta u mnogome zavisi od stepena održavanja i zadovoljavajuća je.

Proračunom energetske efikasnosti utvrđeno je da objekat pripada kategoriji G.

Kako bi se povećala trajnost i energetska efikasnost izvršena je sanacija postojećeg objekta.

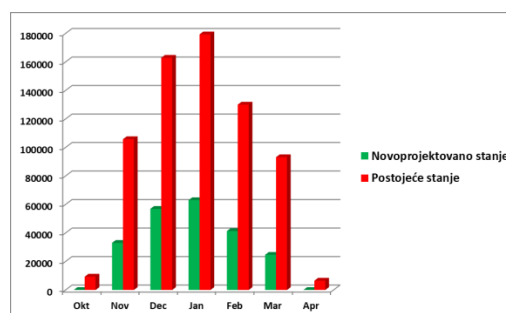
Spoljašnji zidovi objekata oblažu se kamenom vunom debljine 8 cm, koja je u sklopu ETICS sistema fasade [4].

Unutrašnji zidovi oblažu se Multipor pločama proizvođača YTONG debljine 7,5 cm [3].

Ravan krov zamjenjuje se ravnim neprohodnim krovom proizvođača Knauf Insulation. Za termoizolaciju krova usvojena je kamena vuna debljine 18 cm [5].

Sva stolarija je zamjenjena sa dvostrukim niskoemisionim staklom punjenim kriptonom 4-12-4 mm (Kr) sa 6-komornim PVC okvirima.

Ponovljenim proračunom energetske efikasnosti objekat je svrstan u razred C. Primjenjenim mjerama poboljšana je energetska razred za četiri razreda, čime se energetska sanacija smatra veoma uspješnom (Slika 7).



Slika 7. Potrebna energija za grijanje po mjesecima za nesanirani i sanirani objekat

#### 6. LITERATURA

- [1] PDFslide <https://pdfslide.tips/documents/06-kratak-opis-ims-sistema.html?fbclid=IwAR3VFZxmm9P7gY471U-8EOnfFwRejT3iNonOwLf9Xvr5VxeCBDh4lmABBMo>
- [2] Sl.glasnik RS" br.61/2011. Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, "Sl.glasnik RS" br.61/2011. Beograd
- [3] YTONG. [https://www.ytong.rs/sta\\_je\\_ytong\\_multipor\\_1798.php](https://www.ytong.rs/sta_je_ytong_multipor_1798.php)
- [4] Knaufinsulation. <https://www.knaufinsulation.rs/kontakt-na-fasada>
- [5] Knaufinsulation. <https://www.knaufinsulation.rs/ravni-krov>
- [6] Knaufinsulation. [https://pim.knaufinsulation.com/files/download/07\\_homesellds\\_200\\_aluplus.pdf](https://pim.knaufinsulation.com/files/download/07_homesellds_200_aluplus.pdf)
- [7] Malešev M., Radonjanin V.: Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad
- [8] Brujić Z.: Montažne betonske konstrukcije, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

#### Kratka biografija:



**Jelena Anđelić** rođena je u Prnjavoru 1996.god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo-Konstrukcije, trajnost i procena stanja i sanacija betonskih konstrukcija, odbranila je 2021.god kontakt: [jelena.andjelic.gr@gmail.com](mailto:jelena.andjelic.gr@gmail.com)



## PROCENA STANJA AB KONSTRUKCIJE I ENERGETSKA SANACIJA ZGRADE BIVŠE MODNE KUĆE "22 DECEMBAR" U ČUPRIJI

### ASSESSMENT OF RC STRUCTURE AND ENERGY REHABILITATION OF THE FORMER FASHION STORE "DECEMBER 22" BUILDING IN ČUPRIJA

Aleksandar Stojanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – Građevinarstvo

**Kratak sadržaj** – Rad se sastoji iz dva dela, teorijskog i praktičnog. U teorijskom delu su obrađeni tipovi ventilisanih fasada i fasadni sistemi kompanije „Sobotec“. U praktičnom delu urađena je procena stanja objekta „22. Decembar“ u Čupriji. Zatim je urađen proračun energetske efikasnosti za postojeće stanje objekta. Nakon predloženih mera energetske sanacije ponovo je urađen proračun energetske efikasnosti zgrade. Na kraju, upoređeni su rezultati ova dva proračuna.

**Ključne reči:** Ventilisane fasade, Alubond, Aluminijum, Sobotec, Energetska efikasnost, Sanacija

**Abstract** – The paper consists of two parts, theoretical and practical. In the theoretical part, rain screen facade types and the facade systems of the company "Sobotec" are analyzed. The practical part consists of assessment of the condition of the facility "22 Decembar" in Čuprija. An energy efficiency calculation is done for the existing condition of the building. After the proposed energy rehabilitation measures, the calculation of the energy efficiency of the building were done again. Finally, the results of these two calculations were compared.

**Keywords:** Ventilated - Rainscreen facades, Alucobond, Aluminum, Sobotec, Energy efficiency, Rehabilitation

#### 1. SOBOTEC LTD. SISTEMI FASADA

##### 1.1. Fasade

Ventilisane fasade su fasade koje su od primarne konstrukcije odvojene slojem vazduha. Ovaj sloj vazduha, koji stalno cirkuliše, ima ulogu da vlagu unutar šupljine brzo odvede iz sistema, na taj način termoizolacija ostaje suva, čime se produžava trajnost materijala i normalno funkcionisanje sistema (vlažna termoizolacija ima manje toplotne karakteristike).

Tipovi fasada koji se mogu naći u ponudi kompanije Sobotec Ltd su:

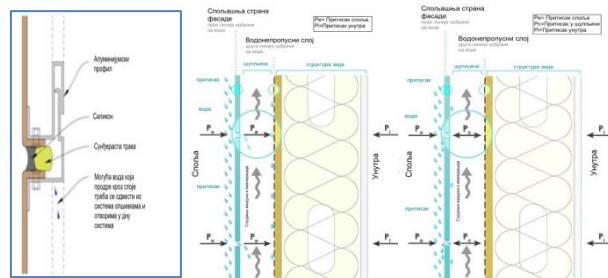
Potpuno zaptivene fasade, drenirane i ventilisane fasade i fasade sa izjednačenim pritiskom.

**Potpuno zaptivene fasade** su jedan od prvih tipova fasada koje su korišćene na raznim objektima. Princip ovih fasada se zasniva na potpunom zatvaranju spojeva

bilo silikonom (mokri sistem) ili nekim mehaničkim sistemom zaptivanja (suvi sistem). Celokupna odbrana od prodora vode zasniva se na spoljašnjoj površini obloge i nepropusnosti spojeva. Ovaj tip fasada se upotrebljava na objektima na kojima se zaštita unutrašnje konstrukcije zida ne može ostvariti vodonepropusnim slojevima (slika 1, levo) [7].

**Drenirana i ventilisana fasada** je tip ventilisane fasade kod kog se princip odbrane od vode zasniva na tome da se dopušta prolazak vode kroz spojeve na spoljašnjoj oblozi. Voda koja dospe iza panela se brzo, gravitacionim putem (dreniranjem) odvodi van sistema kroz otvore u dnu sistema. Strujanjem vazduha u šupljini eventualno preostala vlaga se evaporacijom izvlači iz sistema. Kod ovog sistema obavezna je upotreba vodootporne barijere sa unutrašnje strane šupljine (kako bi se sprečilo kvašenje ostalih slojeva zidova, naročito termoizolacije). Kako sistem omogućava prolaz vazduha kroz spojnice, slojevi iza fasade moraju biti projektovani tako da mogu da prime opterećenja od vetra (slika 1, sredina) [7].

**Fasade sa izjednačenim pritiskom** su još jedan sistem ventilisanih fasada. Kod ovog sistema odbrana od vode se zasniva na principu izjednačavanja vazdušnog pritiska sa spoljašnje strane i vazdušnog pritiska u šupljini iza fasade. Na ovaj način, zbog izostanka razlike u pritiscima nije moguće uvući vodu iza spoljašnje obloge. U praksi, međutim, određena količina vode prolazi kroz spojnice. Razlog ovome je delovanje vetra koje je stohastičko i menja se u svakom trenutku pa je i teško postići idelano izjednačavanje pritiska. Usled ovoga sistem se projektuje tako da određnu količinu vode koja dospe kroz spojnice može dreniranjem kroz otvore da izbaci iz sistema (slika 1, desno) [7].



Slika 1. Tipovi fasadnih sistema [7], [8]

Sobotec Ltd. Sistemi podrazumevaju upotrebu alubonda, metalnih panela (nerđajući čelik, aluminijum, cink, bakar) i HPL panela sa raznim tipovima aluminijumskih profila

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, redovni profesor FTN.

koje služe za pričvršćivanje panela za noseću potkonstrukciju. Ovi sistemi fasada se upotrebljavaju na severnoameričkom kontinentu (SAD i Kanada).

Sobotec sistemi su : SL2000, SL1000, SL3000, SL4000, SL5000, SurFlex, FSL-100, FSL-200

Najčešće se koristi sistem SL-2000 koji je opisan u nastavku.

## 1.2 SL-2000

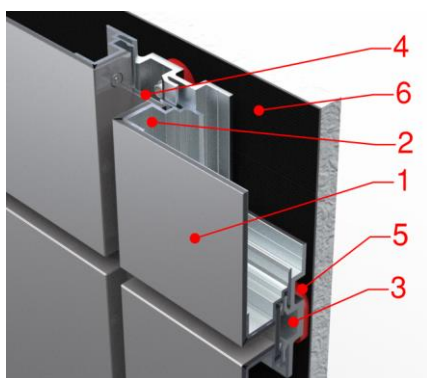
Koncept ovog sistema je na dvostrukoj zaštiti od vlage, prvo strujanjem vazduha u ventilisanom sloju odvodi se vlaga iz sistema. Ukoliko dodje do prolaska vode zaštita se vrši pomoću zaštitne barijere koja se postavlja na spoljnu stranu termoizolacije. Najveća prednost ovog sistema je mala potreba za održavanjem i mogućnost prilagođavanja različitim oblicima zgrada (Slika 1) [1].



Slika 2. SL-2000 [1]

Sistem se sastoji od više komponenti, a to su (Slika 2):

- 1 Panel (alubond ili aluminijum)
- 2 Aluminijumski okvir (pomoću kog se formiraju ivice)
- 3 Aluminijumski profili (koji se montiraju na okvir a zatim pričvršćuju za potkonstrukciju)
- 4 Aluminijumske lajsne (postavlja se na spojevima dva panela)
- 5 Termički separator (sprečava prenošenje toplote sa profilisanog panela na potkonstrukciju)
- 6 Vodonepropusni i vetrootporni sloj

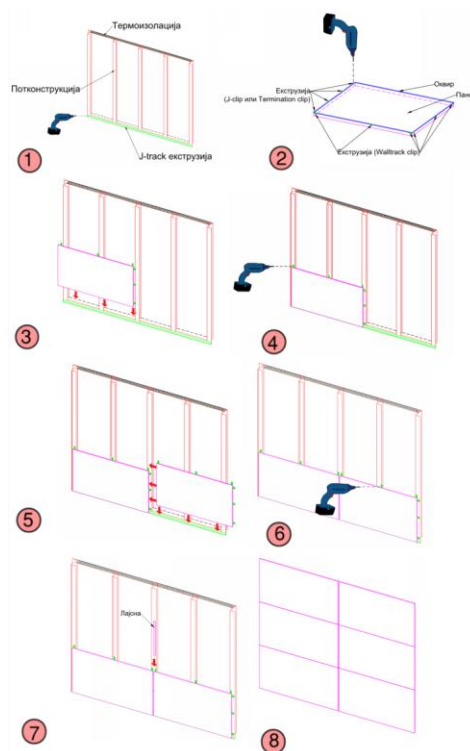


Slika 1. Komponente SL-2000 sistema [1]

Panel se seče na potrebnu dimenziju a zatim se ivice savijaju i pričvršćuju za okvir pomoću pop-nitni. Za ovako formiran panel pričvršćuju se aluminijumski profili koji su projektom predviđeni. Razmak aluminijumskih profila i broj spojnih sredstava određuju se statičkim proračunom (Slika 3). Uobičajeni razmak aluminijumskih profila je 16in (40,64cm), budući da se na severnoameričkom kontinentu razmak čelične potkonstrukcije

uglavnom postavlja na toj razdaljini. Na profilima postoje ovalne rupe čime se omogućava rad sistema usled termičkih dejstva.

Montaža panela počinje postavljanjem kontinualnog profila u dnu zida a na sklopljenom panelu postavljaju se aluminijumski profili na odgovarajućim stranama panela. Panel se postavlja u položaj da okvir panela nalegne u kontinualni aluminijumski profil, zatim se vrši pričvršćivanje ostalih profila za potkonstrukciju. Sledeći panel se postavlja na način da nalegne na donji aluminijumski profil i profil na strani već postavljenog susednog panela, sledi pričvršćivanje ostalih profila za potkonstrukciju. Po postavljanju dva panela na spoju se u žljebove profila postavlja lajsna kako se ne bi video spoj. Dalje, istim principom postavljaju se i ostali paneli kako po širini tako i po visini. Sistem podrazumeva upotrebu već razrađenih fazonskih detalja (oko otvora, uglova, u specifičnim situacijama. Princip postavljanja panela prikazan je na slici 4.



Slika 2. Princip postavljanja panela

## 2. PROCENA STANJA OBJEKTA

### 2.1 Tehnički opis

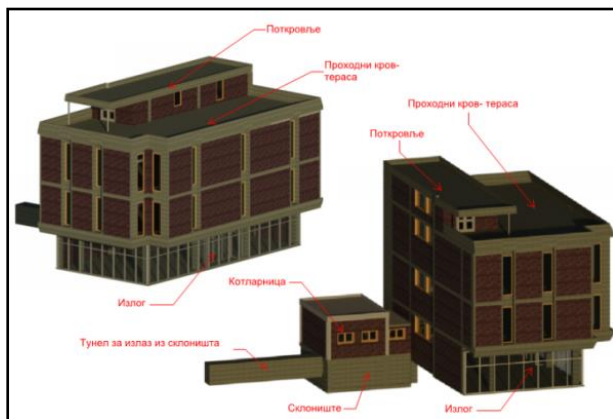
Objekat se nalazi u Čupriji na adresi Cara Lazara br.1 (Slika 5). Objekat je pozicioniran u užem centru grada. Sa severne strane u jednom delu je u kontaktu sa susednim stambenim objektom dok je na istoku u prizemlju pasaž, a na spratovima je u kontaktu sa susednim poslovnim objektom. Zapadna i južna fasada su ulično orijentisane dok je severni deo dvorišno orijentisan.

Objekat je približno pravougaone osnove dimenzija 21,00m x 10,25m sa isturenom kotlarnicom sa dvorišne strane. Na spratovima su izvedeni konzolni ispusti – erkeri i dimenzije objekta u ovom delu su 24,10m x 13,30m. Spratnost objekta je Pr+2+Pot, dok je u delu kotlarnice Po+Pr.

U prizemlju zgrade je predviđen prodajni prostor, pomoćne prostorije, toalet i kotlarnica. Na spratovima je, takođe, predviđen prodajni prostor, s tim da su na drugom spratu predviđene muška i ženska garderoba kao i kancelarija.

Potkrovlje je izvedeno samo u jednom delu objekta.

U prizemlju, ka ulici, celom dužinom objekta nalaze se izlozi. Ispod kotlarnice nalazi se sklonište. Delovi objekta se mogu videti na slici 5.



Slika 3. Delovi objekta

Konstruktivni sistem objekta je skeletni, sačinjen od AB stubova i greda u dva ortogonalna pravca sa maksimalnim rasponima od 7,75m i 7,0m i punih AB ploča. Kotlarnica je u masivnom sistemu gradnje, sa nosećim zidovima od keramičkih blokova ukurčenih vertikalnim i horizontalnim serklažima i polumontažnom tavanicom TM-3. Krov je predviđen kao ravan, prohodan, izuzev krova iznad potkrovlja i kotlarnice koji su neprohodni.

Temeljenje je izvršeno na AB temeljima samicima ispod glavnog objekta i na temeljnoj ploči ispod kotlarnice.

## 2.2 Vizuelni pregled objekta i analiza uočenih oštećenja

Kako objekat u nije u funkciji (u trenutku vizuelnog pregleda), bilo je moguće pristupiti svim delovima objekta. Otežan je vizuelni pregled jedino u prizemlju gde se nalazio razni inventar objekta. U toku vizuelnog pregleda proverene su stvarne dimenzija elemenata konstrukcije i upoređene sa vrednostima iz projekta kao i merenje nepoznatih dimenzija i određivanje vrsta upotrebljenih materijala. Tokom vizuelnog pregleda objekta, neophodno je uočiti sva oštećenja i defekte konstrukcije, dokumentovati ih a zatim izvršiti njihovu sistematizaciju i odrediti uzroke koji su doveli do pojave oštećenja i defekata.

### 2.2.1 Glavni objekat – modna kuća

Pregledom je utvrđeno da je osnovni uzrok nastanka oštećenja – voda. Sve instalacije su uklonjene iz objekta, što je rezultovalo odvođenjem vode sa krovnih površina kroz otvore i direktan prodor vode u objekat. Zbog dužeg zadržavanja vlage na betonskim pločama se pojavila biološka korozija, ispiranje kalcijumhidroksida, korozija armature što je dalje uzrokovalo oštećenje betona. Ista oštećenja su uočena i na AB gredama. Registrovan je i veliki broj defekata, koji potiču iz iz perioda gradjenja objekta. Na pločama i gredama uočeni su: betonska

gnezda, nedovoljna debljinae zaštitnog sloja betona, linijska segregacija betona na mestima spoja delova oplatnih ravni. Drvena oplata, koja je korišćena pri gradnji sa nekih elemenata nije nikada skinuta. Na zidovima su uočene prsline različitih veličina i orijentacija. Na fasadnom zidu I sprata vidi se vertikalna prsline na mestu gde se greda spaja sa gredom suprotnog smera. Zidovi od opeke na II spratu su takođe imaju prsline (dijagonalne i horizontalne koje su uzrokovane ugitom ploče. U potkrovlju su, usled nemara i vandalizma primećeni tragovi plamena na zidovima, gredama i sa donje strane ploče. Slojevi ravnog krova su zastareli i ispucali što je dovelo do propuštanja vode i deterioracije elemenata u unutrašnjosti objekta. Primećena je jaka biološka korozija na krovu u vidu stabala, rastinja i raznih vrsta biljaka. Sva metalna bravarija je korodirala, a sva stakla su popucala u vreme NATO bombardovanja 1999.godine.

### 2.2.2 Kotlarnica i sklonište

Ovaj deo izdvojen je od glavnog objekta i u različitom sistemu gradnje je. Prizemni deo kotlarnice je u dobrom stanju, očuvan je završni sloj osim u jednom delu u kome je primećena buđ i otpadanje ovog sloja. Bitnijih oštećenja i defekata nije bilo. Za razliku od prizemnog dela, sklonište je u lošem stanju. Primećeno je povremeno plavljenje objekta zbog neadekvatno izvedene hidroizolacije. Konstantna vlaga u ovom prostoru i nemogućnost dobre ventilacije dovele su do pogoršanja i ostalih oštećenja, kao što je korozija armature.

## 2.3 Zaključak o stanju objekta

Analizom registrovanih oštećenja, može se zaključiti da je osnovni uzrok njihovog nastanka atmosferska voda koja slobodno prodire u unutrašnjost objekta duži niz godina. Pored vode, veliki broj defekata, nemar, neodržavanje i vandalizam su doprineli da je objekat danas u veoma lošem stanju. Funkcionalnost objekta je narušena dok su stabilnost i nosivost konstrukcije sačuvani. Trajnost ugrađenih materijala je smanjena.

## 3. ENERGETSKA EFIKASNOST - POSTOJEĆE STANJE

Proračun je u svemu sproveden prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada „Službeni glasnik RS“ br. 061/2011 [2].Elementi konstrukcije su najpre podeljeni na transparentne i netransparentne u zavisnosti od slojeva i položaja ovih elemenata. Definirano je 28 netransparentnih i 8 transparentnih pozicija. Za svaku od pozicija urađen je proračun građevinske fizike koji podrazumeva određivanje koeficijentata prolaza toplote, a za netransparentne sklopove određeni su: raspored temperatura, minimalna otpornost sklopa, difuzija vodene pare i parametri letnje stabilnosti.

Svi analizirani sklopovi su imali veći koeficijent prolaza toplote od pravilnikom propisane vrednosti. Nakon izvršenog proračuna za svaku poziciju ponaosob, pristupilo se proračunu toplotnih gubitaka i dobitaka zgrade kao celine, u cilju određivanja potrebne energije za obezbeđenje osnovnih uslova komfora. Proračunati gubici toplote prikazani su na slici 6.





Slika 4. Gubici toplote, postojeće stanje

Na kraju, proračunata je ukupna potrebna energija za grejanje zgrade na godišnjem nivou, na osnovu koje je zgradat svrstana u energetske razred F.

#### 4. ENERGETSKA SANACIJA I ENERGETSKI RAZRED SANIRANOG OBJEKTA

Pored toga što nijedan od elemenata nije zadovoljio propisane vrednosti koeficijenta prolaza toplote, utvrđeno je i da veliki broj elemenata ima malu termičku masu, pa je izborom termoizolacije povećana i termička masa problematičnih elemenata. Potrebne debljine termoizolacionih materijala poračunate su iz uslova da svaki sklop ispuni uslov za najveći dozvoljeni koeficijent prolaza toplote. Za termoizolaciju zidova odabran je ćelijasti beton - Multipor ploče debljine 125 mm [3].

Kao novo rešenje za zamenu ostarih slojeva termo i hidroizolacije ravnog krova, usvojen je zeleni krov tipa Urbanscape [4] sa termoizolacijom od kamene vune Smartroof thermal [5] debljine 170mm.

Za parnu branu usvojen je Knauf LDS 200 [6]. Stolarija je potpuno zamenjena, umesto metalne koristi se aluminijumska stolarija sa trostrukim (4-8-4-8-4mm), niskoemisionim staklom punjenim plemenitim gasom – kriptonom.

Ponovnim proračunom dobijeni su bolji rezultati, što je i očekivano (Slika 7).



Slika 5-Gubici toplote, sanirani objekat

Daljim proračunom utvrđeno je da objekat pripada energetskom razredu D.

#### 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata vizuelnog pregleda i analizom registrovanih oštećenja i defekata utvrđeno je da nosivost i stabilnost objekta nisu ugrožene, međutim trajnost i funkcionalnost objekta su narušene u velikoj meri.

Proračunom energetske efikasnosti utvrđeno je da objekat pripada kategoriji F.

Kako bi se povećala trajnost i energetska efikasnost izvršena je sanacija postojećeg objekta.

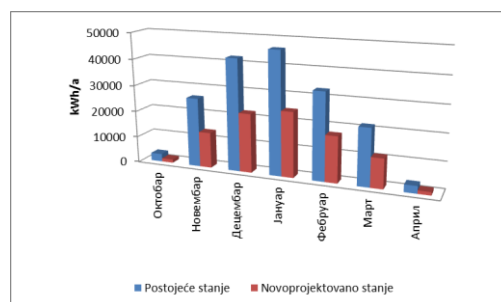
Zidovi objekata oblažu se Multipor pločama debljine 125 mm. Ovim pločama se pored termoizolacije objekta povećava i njegova termička masa [3].

Svi ravni krovovi zamenjuju se sistemom zelenih krovova Urbanscape [4].

Za termoizolaciju krova usvojena je kamena vuna Smartroof thermal debljine 170mm [5].

Stolarija koja je bila metalna sa gotovo svim razbijenim staklenim površinama, zamenjena je aluminijumskom stolarijom sa staklenim površinama od niskoemisionog, trostrukog stakla punjenog plemenitim gasom – kriptonom.

Ponovnim proračunom energetske efikasnosti objekat je svrstan u kategoriju D. Primenjenim merama poboljšana je energetska razred za dva stepena čime se energetska sanacija smatra uspešnom (Slika 8).

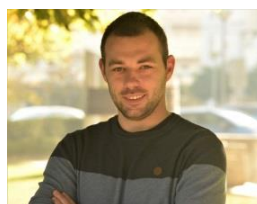


Slika 6- Potrebna energija za grejanje po mesecima za nesanirani i sanirani objekat

#### 6. LITERATURA

- [1] SOBOTEK LTD. <https://www.sobotek.com/>
- [2] Sl.glasnik RS" br.61/2011. Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, "Sl.glasnik RS" br.61/2011. Beograd
- [3] YTONG. [https://www.ytong.rs/sta\\_je\\_ytong\\_multipor\\_1798.php](https://www.ytong.rs/sta_je_ytong_multipor_1798.php)
- [4] Knaufinsulation. <https://www.knaufinsulation.rs/zeleni-krovovi>
- [5] Knaufinsulation. <https://www.knaufinsulation.rs/proizvodi/smartroof-thermal>
- [6] Knaufinsulation. [https://pim.knaufinsulation.com/files/download/07\\_home\\_seal\\_lds\\_200\\_aluplus.pdf](https://pim.knaufinsulation.com/files/download/07_home_seal_lds_200_aluplus.pdf)
- [7] MCA Technical Bulletin. <https://www.alpolic-america.com/wp-content/uploads/2018/03/MCM-Panel-System-Definitions-0318.pdf>
- [8] Rainscreen Design Basic <https://rainscreeninfo.com/rainscreen-design-basics/>

#### Kratka biografija



**Aleksandar Stojanović** rođen je u Čupriji 1995.god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo-Konstrukcije, procena stanja i sanacija betonskih konstrukcija, odbranio je 2021.god  
kontakt: astojanovicgr@gmail.com



**УПОРЕДНА АНАЛИЗА КРУЖНИХ И ТУРБО КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА  
ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ**  
**COMPARATIVE ANALYSIS OF CONVENTIONAL AND TURBO ROUNDABOUTS  
USING MULTICRITERIA ANALYSIS**

Далиа Штрбац, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО**

**Кратак садржај** – У оквиру овог рада представљене су карактеристике кружних раскрсница и турбо кружних раскрсница, приказане су основе за њихово планирање и пројектовање. Приликом избора типа кружне раскрснице за предметну локацију – Булевар цара Лазара и Фрушкогорске улице у Новом Саду, коришћена је Вишекритеријумска оптимизација (ВКО) и метода Итеративног компромисног рангирања (ИКОР). Као резултат ове методе, могли смо да донесмо одлуку који тип кружне раскрснице је боља алтернатива за нашу предметну локацију.

**Кључне речи:** Кружне раскрснице, Турбо кружне раскрснице, Вишекритеријумска анализа

**Abstract** – This work presents the characteristics of conventional roundabouts and turbo roundabouts and the bases for their planning and design are indicated. When we choosing the type of roundabout for the subject location – Boulevar cara Lazara and Fruskogorska Street in Novi Sad, we use the Multicriteria Optimization and method of Interactive Compromise Ranking (IKOR). As a result of these methods, we were able to make a decision about which type of roundabout is better alternative for the location.

**Keywords:** Conventional roundabouts, Turbo roundabouts, Multicriteria analysis

**1. УВОД**

Један од најважнијих делова саобраћајне инфраструктуре су раскрснице, јер оне спајају и раздвајају саобраћајне токове, тако да су ова места у путној мрежи од велике важности. Раскрсница треба, пре свега, да обезбеди сигурност свих учесника у саобраћају, као и задовољавајући проток и квалитет саобраћаја, а да геометријске карактеристике буду изведене у складу са важећим прописима и правилима.

Како су кружне раскрснице постајале популарније, тако су се развијали и нови типови кружних раскрсница. Из потребе да кружне раскрснице буду што безбедније, а да самим тим квалитет протока саобраћајане буде смањен него, напротив, повећан, настале су турбо кружне раскрснице.

**НАПОМЕНА:**

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Милош Шешлија.

Да бисмо изабрали одговарајући тип кружне раскрснице, који ће испуњавати задате циљеве за предметну локацију на углу Булевара цара Лазара и Фрушкогорске улице, приликом избора користили смо вишекритеријумску анализу.

**2. КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ**

Кружна раскрсница је назив за врсту раскрснице у друмском саобраћају која има несметан ток саобраћаја. Односно, кружна раскрсница је раскрсница у којој се саобраћај одвија кружно, у смеру супротном од смера казальке на сату.

**3. ПРОЈЕКТНО-ТЕХНИЧКИ ЕЛЕМЕНТИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА**

Основни елементи кружних раскрсница су:

- кружни коловоз;
- централно острво које се састоји из прегазног, условно прегазног и непрегазног дела;
- краци кружне раскрснице;
- спољашњи пречник кружне раскрснице;
- унутрашњи пречник кружне раскрснице;
- уливне и изливне саобраћајне траке;
- уливни и изливни радијуси;
- разделна острва.

Пројектно-технички елементи кружних раскрсница подразумевају смернице за пројектовање и обликовање наведених елемената као и њихове препоручене вредности, односно димензије.

**3. ТУРБО КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ**

Турбо кружне раскрснице развиле су се из двотрачних кружних раскрсница због потребе повећања сигурности саобраћаја у кружном току.

Турбо кружна раскрсница је посебна врста вишетрачне кружне раскрснице, при којој су саобраћајни токови међусобно одвојени бетонским префабрикованим елементима који спречавају промену возне траке (преплитање саобраћајних токова) у кружном току.

Када се возач на уливу у турбо кружну раскрсницу одлучи на којем изливу ће напустити кружну раскрсницу, одлуку више није могуће мењати, јер овај тип кружних раскрсница не дозвољава промену возних трака у кружној раскрсници.

## 5. ПРОЈЕКТНО-ТЕХНИЧКИ ЕЛЕМЕНТИ ТУРБО КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

Елементи турбо кружних раскрсница су начелно исти као код класичних кружних раскрсница, међутим јављају се специфични елементи којих код класичне кружне раскрснице нема, а то су префабриковани бетонски елементи (денивелатори) који спречавају преплитање саобраћајних токова на кружном коловозу и елементат "шпиц" који је уређен почетак елемента за спречавање преплитања саобраћајних токова на кружном коловозу турбо кружне раскрснице.

Геометријски облик централног острва турбо кружне раскрснице се формира помоћу тзв. "турбо блока". То је блок или скуп свих потребних полупречника које је потребно на одређен начин заротирати и на тај начин добити возне линије, односно саобраћајне траке.

## 6. БЕЗБЕДНОСТ

Повећање безбедности применом кружних раскрсница јавља се као последица смањења броја конфликтних тачака у односу на класичне раскрснице са директним укрштањем токова са 32 на 24 конфликтне тачке, као и смањена брзине како при уласку, тако и током вожње кроз кружну раскрсницу, која је условљена геометријским обликом кружне раскрснице.

Конфликтне тачке су места на којима се трасе два учесника у саобраћају укрштају, спајају или раздвајају. Број конфликтних тачака зависи од типа кружне раскрснице и броја улазних и излазних саобраћајних токова.

Турбо кружне раскрснице у поређењу са класичним двотрачним кружним раскрсницама смањују број конфликтних тачака са 24 на 14.

## 7. КАПАЦИТЕТ

Капацитет кружне раскрснице изражава се преко капацитета њених појединачних прилаза. Капацитет целе раскрснице се не одређује.

Капацитет прилаза кружне раскрснице је максималан саобраћајни захтев који у конкретним условима геометрије и интензитета приоритетног саобраћајног тока може током одређеног периода да се прикључи кружном току раскрснице.

За сваку нову или реконструисану кружну раскрсницу потребно је проверити њену проточност.

## 8. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА

Вишекритеријумска анализа истражује начине како да се без упрошћења полазног проблема одреди компромисно решење, пошто строго оптимално решење због конфликта критеријума не постоји. Најчешће је то процес вредновања скупа решења могућих алтернатива у односу на скуп одабраних критеријума, односно циљева.

Потреба за доношењем одлуке присутна је у свим доменама egzистенције, од појединца до најразличитијих организованих облика људи и друштва.

Доношење неке одлуке подразумева избор најбоље, односно оптималне алтернативе, која представља комбинацију максималног учинка и минималних трошкова.

Циљ *Вишекритеријумске оптимизације* је доношење конкретне одлуке, али не најповољнијег решења које је боље од свих других алтернатива за све критеријуме, већ алтернатива која је добра за највећи број задатих критеријума.

Метод *вишекритеријумске оптимизације (ВКО)* које ћемо представити и применити у овом раду су:

- *Компромисно програмирање*
- *Вишекритеријумско компромисно рангирање алтернативних решења*

## 9. ИСТРАЖИВАЊЕ КРОЗ ВРЕДНОВАЊЕ АЛТЕРНАТИВНИХ РЕШЕЊА ПРИЛИКОМ ИЗБОРА ТИПА КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ ЗА ОДРЕЂЕНУ ЛОКАЦИЈУ

### 9.1. Опис и локација будуће кружне раскрснице на углу Булевара цара Лазара и Фрушкогорске улице

У систему основне уличне мреже Новог Сада предметна раскрсница се налази на примарној саобраћајној мрежи града.

Планирана је изградња кружне раскрснице на углу Булевара цара Лазара и Фрушкогорске улице. Задатак је извршити вредновање различитих алтернативних решења, односно типова кружних раскрсница уз одређивање оптималне варијанте. Вредновање ће се извршити за два типа раскрснице, кружну и турбо кружну раскрсницу у циљу добијања решења.



Слика 1. Постојаће стање раскрснице на углу Булевара цара Лазара и Фрушкогорске улице

### 9.2. Истраживање кроз вредновање алтернативних решења приликом избора типа кружне раскрснице на углу Булевара цара Лазара и Фрушкогорске улице

У раду су анализирана два типа кружних раскрсница на истој предметној локацији. Прво алтернативно решење које је анализирано је двотрачна кружна раскрсница (КР), односно кружна раскрсница са две саобраћајне траке унутар кружног тока, која ће у наставку бити означена А2, док друго алтернативно решење представља турбо кружну раскрсницу (ТКР), која припада групацији кружних раскрсница са одређеним изменама која су објашњена у предходним поглављима и која ће у наставку бити означена А1.

Критеријуми који су узети у анализу су следећи:

- $f_1$  - капацитет раскрснице,
- $f_2$  - цена коштања изградње раскрснице,
- $f_3$  - број конфликтних и колозионих тачака,
- $f_4$  - сигурност возача приликом коришћења раскрснице,
- $f_5$  - сигурност пешака,
- $f_6$  - дозвољена брзина кретања у раскрсници,
- $f_7$  - исплативост раскрснице на период од 10 година и више,
- $f_8$  - геометријске карактеристике приликом пројектовања раскрснице и приликом коришћења корисника,
- $f_9$  - издвојене траке за десно скретање.

Алтернативе које су анализиране:

- A2 – кружна раскрсница (КР)
- A1 – турбо кружна раскрсница (ТКР)

Након дефинисаних свих потребних параметара, приступамо изради анализе.

Вредности су дефинисане нумеричким бројевима 0 и 1, што представља значајно олакшање приликом вредновања алтернативних решења и тиме смањујемо велике рачунске операције. Вредност 1 се додељује алтернативи која има предност над алтернативом којом је поредимо и њој додељујемо вредност 0.

Табела 1. Дефинисане критеријумске функције са алтернативама

| krit.fun/alter. | A1   | A2  | $f_i^+$ | $f_i^-$ | $D_i$ | jed |
|-----------------|------|-----|---------|---------|-------|-----|
| $f_1$           | 78.2 | 100 | 78.2    | 100     | -21.8 | %   |
| $f_2$           | 0    | 1   | 0       | 1       | -1    | /   |
| $f_3$           | 4    | 6   | 4       | 6       | -2    | kom |
| $f_4$           | 1    | 0   | 0       | 1       | -1    | /   |
| $f_5$           | 1    | 0   | 0       | 1       | -1    | /   |
| $f_6$           | 0    | 1   | 0       | 1       | -1    | /   |
| $f_7$           | 1    | 0   | 0       | 1       | -1    | /   |
| $f_8$           | 0    | 1   | 0       | 1       | -1    | /   |
| $f_9$           | 1    | 0   | 0       | 1       | -1    | /   |

Капацитет раскрсница ( $f_1$ ) је представљен у % и примећује се да турбо кружна раскрсница (A1) има већи капацитет него класична кружна раскрсница (A2) и то за 21,8 %.

Број конфликтних и колозионих тачака ( $f_3$ ) је представљен у јединици [kom], јер у турбо кружној раскрсници (A1) је то смањено и сведено је на 4 тачке, док је у кружној раскрсници (A2) сведено на 6 тачака. Остали критеријуми су изражени нумеричким бројевима 0 и 1 у зависности од предности једне алтернативе у односу на другу алтернативу.

Табела 2. Појединачна ранг листа

| krit.fun/alter. | A1 | A2 |
|-----------------|----|----|
| $f_1$           | 1  | 2  |
| $f_2$           | 2  | 1  |
| $f_3$           | 1  | 2  |
| $f_4$           | 1  | 2  |
| $f_5$           | 1  | 2  |
| $f_6$           | 2  | 1  |
| $f_7$           | 1  | 2  |
| $f_8$           | 2  | 1  |
| $f_9$           | 1  | 2  |

Табела 3. Решење за све критеријуме ( $p=1$ )

| alter. rešenja                 | A1   | A2    |
|--------------------------------|------|-------|
| $(f_i^+)-(f_{ij})$             | 0.0  | -21.8 |
|                                | -1.0 | 0.0   |
|                                | 0.0  | -2.0  |
|                                | -1.0 | 0.0   |
|                                | -1.0 | 0.0   |
|                                | 0.0  | -1.0  |
|                                | -1.0 | 0.0   |
|                                | 0.0  | -1.0  |
| $((f_i^+)-(f_{ij}))/D_i$       | 0.0  | 1.0   |
|                                | 1.0  | 0.0   |
|                                | 0.0  | 1.0   |
|                                | 1.0  | 0.0   |
|                                | 1.0  | 0.0   |
|                                | 0.0  | 1.0   |
|                                | 1.0  | 0.0   |
|                                | 0.0  | 1.0   |
| $\Sigma((f_i^+)-(f_{ij}))/D_i$ | 5.0  | 4.0   |
| redosled alter.rešenja         | 2    | 1     |

Табела 4. Решење за све критеријуме ( $p=2$ )

| alter. rešenja                     | A1  | A2  |
|------------------------------------|-----|-----|
| $(((f_i^+)-(f_{ij}))/D_i)^2$       | 0.0 | 1.0 |
|                                    | 1.0 | 0.0 |
|                                    | 0.0 | 1.0 |
|                                    | 1.0 | 0.0 |
|                                    | 1.0 | 0.0 |
|                                    | 0.0 | 1.0 |
|                                    | 1.0 | 0.0 |
|                                    | 0.0 | 1.0 |
| $\Sigma(((f_i^+)-(f_{ij}))/D_i)^2$ | 5.0 | 4.0 |
| redosled alter.rešenja             | 2   | 1   |

Табела 5. Решење за све критеријуме ( $p=\infty$ )

| alter.rešenja                  | A1  | A2  |
|--------------------------------|-----|-----|
| $\max\{(f_i^+)-(f_{ij})/D_i\}$ | 1.0 | 1.0 |
| redosled alter.rešenja         | 2   | 1   |

Компромисно рангирање се врши помоћу одређених формула:

$$S_j = \sum \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_i^-} \quad \text{за } (p=1) \quad (1)$$

$$R_j = \max \frac{(f_i^+ - f_{ij})}{f_i^+ - f_i^-} \quad \text{за } (p=\infty) \quad (2)$$

$$S^* = \min S_j \quad R^* = \min R_j \quad (3)$$

$$Q_j = \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (4)$$

$$v_2 = 1 - v_1$$

Коначно рангирање се одређује помоћу мере  $Q_j$ :

$$Q_j = v_1 * \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + v_2 * \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (5)$$

**Одређивање редоследа алтернативних решења са истим тежинским коефицијентима**

Исти тежински коефицијенти ( $w = 0,111$ )

Табела 6. Добијање редоследа алтернатива истих тежинских коефицијената

|                  | A1  | A2  | S+  | S-  | DS  |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                  |     |     | R+  | R-  | DR  |
| $S_j(p=1)$       | 5.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 1.0 |
| $R_j(p=\infty)$  | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| $(S_j - S^+)/DS$ | 1   | 0   |     |     |     |
| $(R_j - R^+)/DR$ | 0   | 0   |     |     |     |
| $Q_j(v=0.0)$     | 0   | 0   |     |     |     |
| $Q_j(v=1.0)$     | 1   | 0   |     |     |     |

Табела 7. Редослед алтернативних решења истих тежинских коефицијената

|         | A1 | A2 |
|---------|----|----|
| $v=0.0$ | 1  | 2  |
| $v=1.0$ | 2  | 1  |

На основу спроведене анализе, добијамо да је коначно решење избора типа кружне раскрснице **ТУРБО КРУЖНА РАСКРСНИЦА**, без обзира да ли се ради о истим или разичитим тежинским коефицијентима. На основу свих задатих тежинских коефицијената добијамо тип кружне раскрснице која испуњава услове у погледу свих девет наведених функција које смо окарактерисали кроз квантитативне и квалитативне показатеље.



Слика 2. Идејно решење турбо кружне раскрснице на углу Булеvara цара Лазара и Фрушкогорске улице

## 10. ЗАКЉУЧАК

Кружне раскрснице постале су учинковите у решавању проблема на местима укрштања саобраћајних токова, како у свету, тако и код нас.

Како класичне кружне раскрснице најопштије можемо поделити на једнотрачне и двотрачне кружне раскрснице, двотрачне кружне раскрснице су због веће пропусне моћи чешће у примени.

Ако упоредимо ове две раскрснице са аспекта саобраћајне сигурности и протока саобраћаја, примећујемо да због већег броја конфликтних тачака које има двотрачна кружна раскрсница у односу на једнотрачну кружну раскрсницу, па самим тим двотрачне кружне раскрснице пружају мању саобраћајну сигурност, али имају већи проток саобраћаја. Као избор решења који би задовољио сигурносне елементе и елементе про-

пусне моћи је турбо кружна раскрсница. Овај тип кружне раскрснице даје најбоље резултате јер су саобраћајне траке кружног коловоза међусобно раздвојене узвишеним ивичњацима и тиме се сигурност учесника у саобраћају повећава.

Међутим са економског становишта, трошкови изградње турбо кружне раскрснице су за око 15% већи од трошкова изградње конвенционалне кружне раскрснице, такође трошкови одржавања турбо кружних раскрсница су већи. Без обзира на веће трошкове изградње и одржавања, турбо кружне раскрснице дају далеко већу добит јер ће се њиховом изградњом повећати саобраћајна безбедност и тиме смањити друштвени трошкови изазвани саобраћајним несрећама.

На основу примењене виšekритеријумске оптимизације и спроведене методе итеративног компромисног рангирања (ИКОР) у којој су учествовали критеријуми капацитета, сигурности, геометрије и економичности, приликом избора решења типа кружне раскрснице за исту локацију на углу Булеvara цара Лазара и Фрушкогорске улице, као решење добили смо да је турбо кружна раскрсница боља алтернатива од класичне кружне раскрснице.

Будућа турбо кружна раскрсница која је прва у Новом Саду, а и у Србији ће се даљом експанзијом проширити и на остале градове доносећи многе предности којих код класичне кружне раскрснице нема.

## 11. ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Priručnik za projektovanje puteva u republici Srbiji* – Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd, 2012
- [2] Kenjić Z., – *Kružne raskrsnice – Rotori*, Priručnik za planiranje i projektovanje, Udruženje konsultanata inženjera Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 2009
- [3] Cvetko T. – *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama*, Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2014
- [4] Orozović S., – *OPTIMIZACIJA SISTEMA*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1992
- [5] Nikolić I. i Božilović S., – *Optimizacija - Višeciljno i Višeatributivno odlučivanje* – Primena softvera Expert Choise u problemu realokacije kompanije, Fakultet za graditeljski menadžment, Beograd, 2010

### Кратка биографија:



**Далиа Штрбац** рођена у Книну 1989. год. октобра 2008. године уписује основне студије на Факултету техничких наука из области Грађевинарства. У јула 2019. године стиче звање дипломираног грађевинског инжењера на одсеку за путеве, железнице и аеродроме. Мастер рад на Факултету техничких наука из области градских саобраћајница одбранила је у јуну 2021. године.



**NELINEARNA STATIČKA ANALIZA VIŠESPRATNE ZIDANE ZGRADE  
PROJEKTOVANE PREMA EVROKODU****NONLINEAR STATIC ANALYSIS OF A MASONRY BUILDING DESIGNED  
ACCORDING TO EUROCODE**

Ljubica Šobot, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Seizmički odgovor zidane zgrade projektovane prema Evrokodu je ocenjen sprovođenjem pushover analize na prostornom modelu formiranom od ekvivalentnih okvira. Vršeno je praćenje ponašanja objekta tokom postepenog nanošenja seizmičkih sila i provera ispunjenja zadatih seizmičkih zahteva prema odredbama Evrokoda uz primenu softvera "AmQuake". Ispitane su vrednosti faktora ponašanja  $q$ , u smislu poređenja dobijenih vrednosti sa onima koje su predviđene u standardu.

**Ključne reči:** zidana zgrada, pushover analiza,  $q$  faktor, Evrokod

**Abstract** – The seismic response of a masonry building designed according to Eurocode was assessed by conducting a pushover analysis on a spatial model formed from equivalent frames. The behavior of the structure was monitored during the gradual application of seismic forces and the fulfillment of the chosen seismic requirements was checked according to the provisions of Eurocode with the application of "AmQuake" software. The values of behavior factor  $q$  were examined, in terms of comparing the obtained values with the ones provided in the code.

**Keywords:** masonry building, pushover analysis,  $q$  factor, Eurocode

**1. UVOD**

Zidane konstrukcije su izrazito nepovoljne sa aspekta seizmičke otpornosti, jer se odlikuju karakteristikama kao što su velika masa, mala zatezna čvrstoća i niska duktilnost. Duktilnost materijala i konstrukcije i kapacitet disipacije energije su osobine na kojima se insistira u svim aktuelnim seizmičkim propisima. Zbog smanjene duktilnosti, zidane zgrade po pravilu imaju znatno manju seizmičku otpornost u odnosu na savremene armiranobetonske i čelične objekte. U Evrokodu 6 (EC6), deo 1-1, mogu se naći opšta pravila za projektovanje nearmiranih i armiranih zidanih zgrada, dok se u Evrokodu 8 (EC8), navode dodatna pravila koja se moraju uzeti u obzir pri proračunu zidanih konstrukcija u seizmičkim područjima [1-3].

**NAPOMENA:**

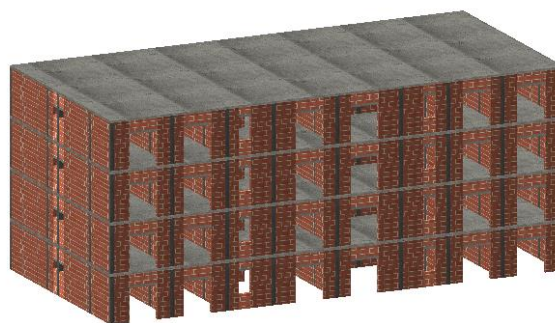
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Vladimir Vukobratović.

**2. OPIS OBJEKTA I SEIZMIČKI PARAMETRI**

Objekat je u osnovi dimenzija 29,5x14,2 m i visine 16,16 m. U konstruktivnom smislu objekat je masivnog sistema, izrađen od zidanih zidova koji su ukruženi horizontalnim i vertikalnim serklažima. Primenjeni POROTHERM 25 S P+E blok spada u grupu 2, a za klasu efikasnosti nadzora usvojena je klasa 3. Karakteristična čvrstoća pri pritisku iznosi 4,15 MPa, modul elastičnosti ( $E$ ) iznosi 4150 MPa a modul smicanja ( $G$ ) 1612,4 MPa. Usvojena je srednja normalizovana čvrstoća pri pritisku blokova od  $f_b = 12$  MPa. Blokovi su povezani u sklop zida malterom opšte namene M5 (čvrstoće 5 MPa) preko horizontalnih i vertikalnih spojnice. Vertikalni i horizontalni serklaži su izvedeni od betona C25/30. Svi vertikalni serklaži se pružaju od temelja do vrha zgrade. Dimenzije vertikalnih serklaža su 25x25 cm. Horizontalni serklaži se oslanjaju na noseće zidove a njihova visina odgovara visinama tavanica. Dimenzije horizontalnih serklaža su 25x20 cm. Serklaži su armirani sa 4Ø14 i UØ8/15 cm. Armiranobetonske ploče (od betona C25/30) debljine 20 cm modelirane su na svim spratovima, uključujući i krov. Ploče su modelirane kao krute dijafragme. Vrednost savojne i poprečne krutosti zidova i armiranog betona uzeta je kao 1/2 od stvarne kako bi se simulirala isprskalost preseka. Postupno guranje je vršeno na prostornom modelu konstrukcije u dva pravca (X, Y) na dva tipa raspodele opterećenja (ravnomerna i modalna).

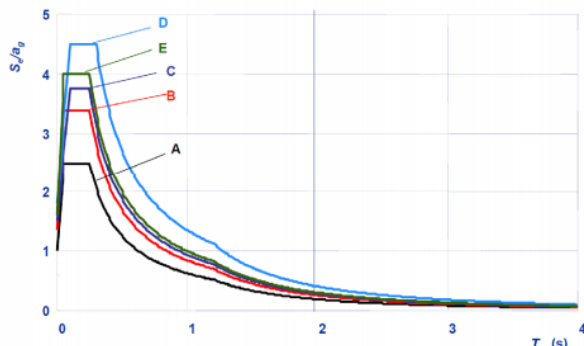
**3. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE I OPTEREĆENJA**

U modelu ekvivalentnog okvira je konstrukcija predstavljena 1D elementima postavljenim u težišnu liniju zidova, serklaža i nadvoja (Slika 1). Ovakav pristup modeliranja dovodi do sadejstva između zidova, zbog čega dolazi do varijacije intenziteta aksijalnih sila [4].



Slika 1. 3D model zgrade

Pored sopstvene težine zgrade, dodatno stalno opterećenje iznosilo je 1,45 kN/m<sup>2</sup>, promenljivo opterećenje na svakom spratu (osim krova) iznosilo je 2,5 kN/m<sup>2</sup>, a opterećenje snegom na krovu iznosilo je 1,0 kN/m<sup>2</sup>. Seizmičko opterećenje je u proračun uvedeno preko spekta odgovora. Usvojen tip tla je TIP D, i tip spektra 2 (Slika 2).



Slika 2. Preporučeni tip 2 elastičnog spektra odgovora za kategorije tla A do E (5% prigušenje)

Na modelu je varirano ubrzanje sa hodom od 0,02 g, i vršena je provera za koje maksimalno ubrzanje bi zgrada imala zadovoljavajući odgovor. U poslednjem koraku usvojen je duplo kraći hod jer se konstrukcija približila stanju loma.

Klasa značaja je II (Obične zgrade) i faktor  $\gamma_I = 1$

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I \quad (1)$$

$$a_{g,ULS} = 0,10 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,00 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,12 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,20 \frac{m}{s^2}$$

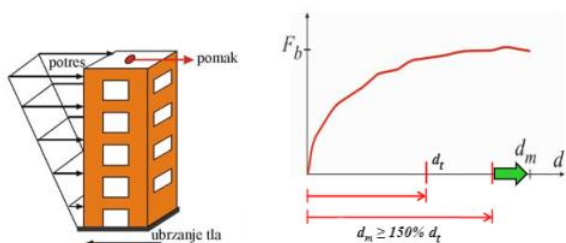
$$a_{g,ULS} = 0,14 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,40 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,16 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,60 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = 0,17 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 = 1,70 \frac{m}{s^2}$$

#### 4. PUSHOVER ANALIZA

Pushover analiza je nelinearna statička analiza čiji je glavni princip da se prati odgovor sistema za rastuću horizontalnu silu uz konstantno vertikalno opterećenje. Iz dobijenog odnosa horizontalne sile i referentnog pomeranja može se odrediti seizmička otpornost sistema. Seizmičko opterećenje se inkrementalno nanosi na sistem koji je prethodno u potpunosti opterećen vertikalnim dejstvima. Na ovaj način, simuliraju se inercijalne sile koje se javljaju u sistemu prilikom zemljotresa. Povećavanjem inkrementalnog opterećenja dolazi do otkazivanja pojedinih elemenata konstrukcije, što uzrokuje smanjenje krutosti sistema.



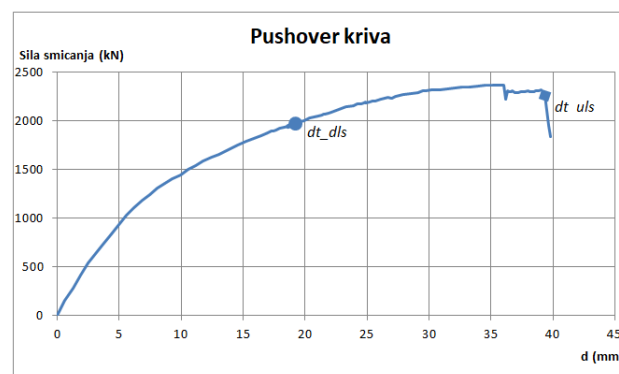
Slika 3. Kontrolno pomeranje vrha zgrade [5]

Ocena seizmičke otpornosti se daje na osnovu praćenja jednog karakterističnog čvora – kontrolnog čvora (Slika 3). Kontrolni čvor je najčešće centar mase najvišeg sprata. Na osnovu pomeranja kontrolnog čvora crta se kriva nosivosti iz koje se ocenjuje seizmička otpornost sistema.

#### 5. REZULTATI PRORAČUNA

Ulazni podaci: tip spektra 2; ubrzanje  $a_{g,ULS}$  za granično stanje nosivosti (GSN) prema Poglavlju 3; ubrzanje za granično stanje upotrebljivosti (GSU)  $a_{g,SLs} = v \cdot a_{g,ULS}$ , pri čemu je  $v = 0.5$  za klasu značaja II.

Uniformna raspodela je zasnovana na bočnim silama koje su proporcionalne masama bez obzira na visinski položaj. Modalna raspodela je proporcionalna bočnim silama koje su u skladu sa oblikom oscilovanja prvog tona u posmatranom pravcu. U oba slučaja, bočne sile moraju biti aplicirane na mestima koncentrisanih masa u proračunskom modelu konstrukcije.



Slika 4. Slučaj opterećenja koji daje najmanju rezervu u nosivosti (X-, uniformni raspored)

Iz rezultata prikazanih na dijagramu sa Slike 4 može se uočiti da vrednosti  $dt_{dls}$  i  $dt_{uls}$  padaju na delove pushover krive povezane sa nelinearnim odgovorom. Očigledno je da postoje značajne rezerve u nosivosti za niže vrednosti ubrzanja. Za vrednost ubrzanja od 1,67 m/s<sup>2</sup> kapacitet za GSN iznosi 40,4 mm, dok je pomeranje za GSN jednako 39,3 mm. Ove vrednosti su dobijene za slučaj opterećenja X-, za uniformnu raspodelu opterećenja (Slika 4, Tabela 1).

Tabela 1. Taberarni prikaz rezultata pushover analize (X-, uniformni raspored)

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| Ciljno pomeranje za GSU - $dt_{dls}$ (mm)                    | 19,6 |
| Kapacitet za GSU - $dc_{dls}$ (mm)                           | 40,4 |
| Ciljno pomeranje za GSN - $dt_{uls}$ (mm)                    | 39,3 |
| Kapacitet za GSN - $dc_{uls}$ (mm)                           | 40,4 |
| Period - $T$ (s)                                             | 0,68 |
| Maksimalno referentno ubrzanje tla $a_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 1,66 |
| Duktilnost - $\mu$                                           | 1,9  |
| Faktor prekoračenja - OSR                                    | 4,6  |
| Elastično pomeranje - $dy$ (mm)                              | 19,5 |

Manji kapaciteti su dobijeni za uniformu raspodelu opterećenja. Uvek bi trebalo proveriti zahteve i kapacitete i za uniformnu i za modalnu raspodelu, što je za ovaj nivo seizmičkog ulaza i dato u Tabeli 2.

Tabela 2. Kapaciteti za granična stanja nosivosti (GSN) i granična stanja upotrebljivosti (GSU)

| Slučaj opterećenja      | Kapacitet-GSU [mm] | Kapacitet-GSN [mm] |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| X+, uniformna raspodela | 39,5               | 39,5               |
| X+, modalna raspodela   | 47,6               | 50,5               |
| X-, uniformna raspodela | 40,4               | 40,4               |
| X-, modalna raspodela   | 47,7               | 53,0               |
| Y+, uniformna raspodela | 41,3               | 41,3               |
| Y+, modalna raspodela   | 47,6               | 47,6               |
| Y-, uniformna raspodela | 41,7               | 41,7               |
| Y-, modalna raspodela   | 45,0               | 45,0               |

Za tip spektra 1 i ubrzanje  $a_{g,ULS} = 1,0 \frac{m}{s^2}$  utvrđeno je da konstrukcija ne poseduje dovoljan kapacitet, te slučaj spektra tipa 1 dalje nije ni razmatran.

## 6. RUČNA VERIFIKACIJA REZULTATA

Izvršena je „ručna“ provera rezultata dobijenih softverom.

### 6.1. Ciljna pomeranja za GSN i GSU

Ciljno pomeranje se definiše kao seizmički zahtev određen iz elastičnog spektra odgovora, preko pomeranja ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode kretanja. AmQuake koristi N2 metodu za određivanje ciljnog pomeranja. Kapacitetom konstrukcije se smatra pomeranje pri kome je prekoračen kriterijum:

$$F_{b,i} \leq 0,8 \cdot F_{b,max} \quad (2)$$

$F_{b,max}$  – maksimalna nosivost zgrade;

$F_{b,i}$  – smičuća sila u osnovi zgrade pri kojoj dolazi do progresivnog oštećenja i loma pojedinih elemenata sistema za prijem bočnog opterećenja.

### 6.2. Određivanje maksimalnog mogućeg ubrzanja $a_g$

Tabela 3. Vrednosti ubrzanja

| Raspored opterećenja | Slučaj opterećenja | $a_g$ (m/s <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--------------------|---------------------------|
| Uniformni raspored   | X+                 | 1,68                      |
|                      | X-                 | 1,66                      |
|                      | Y+                 | 2,06                      |
|                      | Y-                 | 2,11                      |
| Modalni raspored     | X+                 | 1,84                      |
|                      | X-                 | 1,91                      |
|                      | Y+                 | 1,91                      |
|                      | Y-                 | 1,93                      |

Maksimalna moguća ubrzanja imaju veće vrednosti u Y pravcu (Tabela 3).

### 6.3. Faktor prekoračenja OSR

Koeficijent prekoračenja OSR možemo izraziti preko odnosa  $F_y/F_{el}$ , ili preko odnosa  $\alpha_u/\alpha_1$ , gde je  $F_y$  granična smičuća sila (na idealizovanoj bi-linearnoj krivi), a  $F_{el}$  smičuća sila koje odgovara dostizanje kapaciteta po savijanju ili smicanju prvog zida u konstrukciji zgrade prema linearnoj teoriji.

$$OSR = \frac{F_y}{F_{el}} \quad (3)$$

Kada se odnos prekoračenja određuje primenom pushover analize, treba koristiti nižu vrednost faktora prekoračenja dobijenih od dve raspodele bočnih sila. U ovom slučaju, korišćena je uniformna raspodela opterećenja (Tabela 4).

Tabela 4. Vrednosti faktora prekoračenja OSR

| Slučaj opterećenja | OSR |
|--------------------|-----|
| X+                 | 4,4 |
| X-                 | 4,6 |
| Y+                 | 2,8 |
| Y-                 | 3,2 |

Plastični mehanizam treba da bude u skladu sa mehanizmima na kojima je zasnovan faktor ponašanja  $q$  koji se koristi u analizi.

### 6.4. Duktilnost $\mu$ i njemu odgovarajući $R_\mu$

U N2 metodi se primenjuju neelastični spektri, koji su u zoni srednjih i dugih perioda zasnovani na pravilu o jednakosti pomeranja: „Pomeranje konstrukcija sa jednakom krutošću i masom je za vreme dejstva zemljotresa jednako, ako se konstrukcija ponaša elastično ili se plastifikuje“.

$$\mu = \frac{d_{max}}{d_y} \quad (4)$$

$d_{max}$  – kapacitet konstrukcije za MDOF sistem;

$d_y$  – pomeranje na granici tečenja za MDOF sistem.

$$\begin{cases} R_\mu = (\mu - 1) \cdot \frac{T^*}{T_c} + 1 \text{ za } T^* \leq T_c \\ R_\mu = \mu \text{ za } T^* \geq T_c \end{cases} \quad (5)$$

Zbog činjenice da vrednosti  $T^*$  uvek premašuju vrednost  $T_c$ ,  $R_\mu$  i  $\mu$  su uvek jednaki. Dobijene vrednosti su prikazane u Tabeli 5.

Tabela 5. Vrednosti duktilnosti  $\mu$

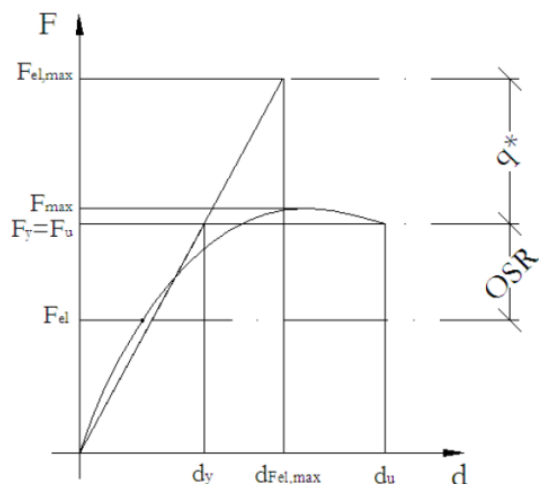
| Raspored opterećenja | Slučaj opterećenja | $\mu$ | Softver |
|----------------------|--------------------|-------|---------|
| Uniformni raspored   | X+                 | 2,1   | 2,0     |
|                      | X-                 | 2,1   | 2,1     |
|                      | Y+                 | 2,5   | 2,5     |
|                      | Y-                 | 2,4   | 2,4     |
| Modalni raspored     | X+                 | 2,4   | 2,4     |
|                      | X-                 | 2,4   | 2,4     |
|                      | Y+                 | 2,4   | 2,4     |
|                      | Y-                 | 2,3   | 2,3     |

### 6.5. Faktor ponašanja $q$

U EN 1998-1 je propisan koncept projektovanja seizmički otpornih konstrukcija koji se zasniva na kontrolisanom smanjenju nosivosti, preko smanjenja seizmičkih sila, koje se postiže primenom faktora ponašanja  $q$  koji praktično smanjuje vrednost elastičnog spektra odgovora. Potrebna nosivost određuje se za projektni nivo seizmičkih uticaja, koji je višestruko manji u odnosu na vrednosti koje bi se javile pri elastičnom odgovoru. Time se za stvarno seizmičko dejstvo dopušta nelinearni odgovor, pri

čemu će konstrukcija tokom zemljotresa biti izložena seizmičkim silama koje su približno jednake njenoj nominalnoj nosivosti. Na ovaj način je konstrukcija zaštićena od nepotrebnog preopterećenja, ali će se javiti određeni stepen oštećenja jer je konstrukcija prinuđena da pređe u neelastičnu fazu odgovora.

Procena i određivanje faktora ponašanja  $q$  može se izvršiti numeričkim modeliranjem i sprovođenjem nelinearne statičke pushover analize, odnosno odrediti na osnovu dobijene krive kapacitet-ukupna smičuća bazna sila  $F$  u odnosu na kontrolno pomeranje  $d$  (Slika 5).



Slika 5. Kriva kapaciteta [5]

$$q = \frac{F_{el,max}}{F_{el}} \quad (6)$$

$$\begin{cases} q^* = (\mu - 1) \cdot \frac{T^*}{T_C} + 1 & \text{za } T^* \leq T_C \\ q^* = \mu & \text{za } T^* \geq T_C \end{cases} \quad (7)$$

$$q = q^* \cdot OSR \quad (8)$$

Tabela 6. Vrednosti faktora ponašanja  $q$

| Raspored opterećenja | Slučaj opterećenja | $q$  |
|----------------------|--------------------|------|
| Uniformni raspored   | X+                 | 9,1  |
|                      | X-                 | 9,7  |
|                      | Y+                 | 6,9  |
|                      | Y-                 | 7,6  |
| Modalni raspored     | X+                 | 11,5 |
|                      | X-                 | 11,8 |
|                      | Y+                 | 7,2  |
|                      | Y-                 | 8,3  |

Vrednosti faktora ponašanja se kreću u intervalu od 7,2 do 11,8 (Tabela 6). Dobijene su znatno veće vrednosti faktora ponašanja  $q$  od onih koje su date u Evrokodu 8 (Tabela 7). Iako je u Evrokodu 8 u vrednostima  $q$  uključena određena doza konzervativnosti, one su i dalje bliže realnim nego vrednosti dobijene numerički. Osnovni razlozi za to su nepouzdanosti koje se javljaju pri izvođenju zidanih konstrukcija, i aproksimacije koje su prisutne u numeričkim modelima koji se koriste za njihovu analizu.

Naime, radi se o tome da način modeliranja zidanih konstrukcija, kao i "pristup obradi" rezultata pushover analize dovodi do previsokih vrednosti, kako faktora prekoračenja OSR, tako i duktilnosti. Posledično, kada se pomnože, dobiju se nerealno visoke vrednosti  $q$  faktora.

Tabela 7. Faktor ponašanja za zidane zgrade iz EC8

| Način građenja                                         | $q$       |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| Nearmirani zidovi prema EC6, slučaj niske seizmičnosti | 1.5       |
| Nearmirani zidovi prema EC8                            | 1.5 – 2.5 |
| Zidovi sa serklažima                                   | 2.0 – 3.0 |
| Armirani zidovi                                        | 2.5 – 3.0 |

Odgovarajuće vrednosti  $q$  faktora tek treba da se utvrde i potrebna su buduća istraživanja na tu temu. Ne očekuje se da će se vrednosti  $q$  faktora za zidane konstrukcije značajno povećati u sledećoj generaciji standarda, biće verovatno slične sadašnjim.

## 7. ZAKLJUČAK

Nakon sprovedenog proračuna konstrukcije prema odredbama Evrokodova utvrđeno je da svi elementi imaju zadovoljavajuću nosivost. Jedan od većih problema zidanih konstrukcija jeste mala seizmička otpornost, zbog čega je pri projektovanju potrebno strogo poštovati odredbe Evrokoda 8 koje se odnose na jednostavnost oblika i simetriju konstrukcije.

Pravce budućeg istraživanja na polju materijala trebalo bi usmeriti na kvalitet zidanih elemenata, prvenstveno blokova i maltera. U proizvodnji zidanih elemenata trebalo bi težiti što lakšim elementima sa većom čvrstoćom pri pritisku. Vrednosti faktora ponašanja  $q$  dobijene u radu su znatno veće od vrednosti datih u Evrokodu 8, pre svega zbog aproksimacija prisutnih u primenjenom numeričkom modelu. Za očekivati je da će odredbe Evrokoda 8 koje se odnose na faktor ponašanja  $q$  u sledećoj generaciji standarda biti izmenjene.

## 8. LITERATURA

- [1] EN 1996-1-1 : 2005– Evrokod 6 „Proračun zidanih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009
- [2] EN 1998-1 : 2004 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009
- [3] EN 1998-3 : 2005 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija”; Beograd, novembar 2000
- [4] Vukobratović Vladimir: „Materijal za predavanja iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”
- [5] Manojlović Dragan: „Materijal za vežbe iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”

### Kratka biografija:



**Ljubica Šobot** rođena je u Novom Sadu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo –Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija odbranila je 2021.god. kontakt: ljubicasobot95@gmail.com



**PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA ZGRADE OSNOVNE ŠKOLE U KUPINOVU****ASSESSMENT OF THE CONDITION AND ENERGY REHABILITATION OF THE PRIMARY SCHOOL BUILDING IN KUPINOVO**

Stefan Kozic, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Rad se sastoji iz dva dijela, teorijskog i stručnog. U teorijskom dijelu su opisani glavni principi i mehanizmi konstruisanja i funkcionisanja spuštenih plafona. Detaljnije su opisana dva komercijalno korišćena sistema spuštenih plafona: fiksirani i modularni. U stručnom dijelu rada urađena je procjena stanja Osnovne škole Dušan Vukasović – Diogen u Kupinovu, zatim analiza energetske performansi zgrade škole i ocena energetske razreda. Predložene su mere za energetske sanaciju zgrade i ponovljen je proračun energetske efikasnosti. Dobijena je značajna energetska ušteda i zgrada je svrstana u energetski razred C.

**Ključne riječi:** *Spušteni plafoni, procjena stanja, škola, energetska efikasnost, sanacija*

**Abstract** – The paper consists of two parts, theoretical and professional. The theoretical part describes the main principles and mechanisms of construction and operation of suspended ceilings. 2 commercially used suspended ceiling systems are described in more detail: fixed and modular. In the professional part of the paper, an assessment of the condition of the Elementary School Dušan Vukasović - Diogenes in Kupinovo was made, then an analysis of the energy performance of the school building and an assessment of the energy class was done. Measures for energy rehabilitation of the building were proposed and the calculation of energy efficiency was repeated. The significant energy savings were obtained and the building was classified in energy class C.

**Keywords:** *Suspended ceilings, assessment, school, energy efficiency, rehabilitation*

**1. SPUŠTENI PLAFONI****1.1. Principi i podjela**

**Spušteni plafoni** se najčešće postavljaju u javnim objektima, a rjeđe i u porodičnim kućama. Njihova primarna svrha je skrivanje instalacionih vodova između plafona i spuštenog plafona, recimo, elektroinstalacija, instalacija za klimatizaciju ili ventilaciju, rasvjetu i slično.

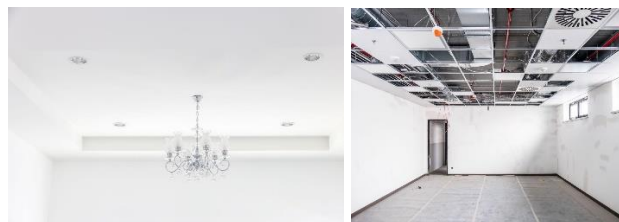
Spušteni plafoni se koriste i na mjestima gdje je velika visina plafona pa se pomoću njih smanjuje visina plafona. Spušteni plafon, takođe, ima smisla kada je potrebna

dodatna termoizolacija međuetazne konstrukcije; osim toga, njime se poboljšava i međuetazna zvučna izolacija. Dakle, osim što je odlično funkcionalno rješenje – sakrivanje instalacija koje kasnije brzo i lako mogu da se mijenjaju, dodaju i popravljaju bez građevinskih radova, spušten plafon je i požarna barijera – a istovremeno i stilsko, odnosno, estetsko rješenje za određen prostor. Postoje dva načina izvođenja spuštanog plafona [1]:

- Fiksirani (monolitni) spušteni plafon i
- Modularni (kasetirani) spušteni plafon.

**Fiksirani plafon** u odnosu na modularni plafon estetski je mnogo ljepši. Ima izgled kao da je izrađen od jednog komada (Slika1, levo). Potkonstrukcija fiksnog plafona je dosta čvršća jer se ponaša kao cijelina što joj omogućava veću nosivost i tako može da izdrži veću debljinu termoizolacije od modularnog plafona.

**Modularni plafon** je urađen iz više cijelina i prilikom kvara instalacija (elektro ili mašinskih), koje se nalaze iznad plafona lakše se dolazi do instalacija i njihova popravka je jednostavnija što je i prednost modularnog plafona u odnosu na fiksirani plafon (slika 1, desno).



Slika 1. Tipovi spuštenih plafona, levo :fiksni, desno, modularni [2]

**2. PROCJENA STANJA OBJEKTA****2.1 Tehnički opis**

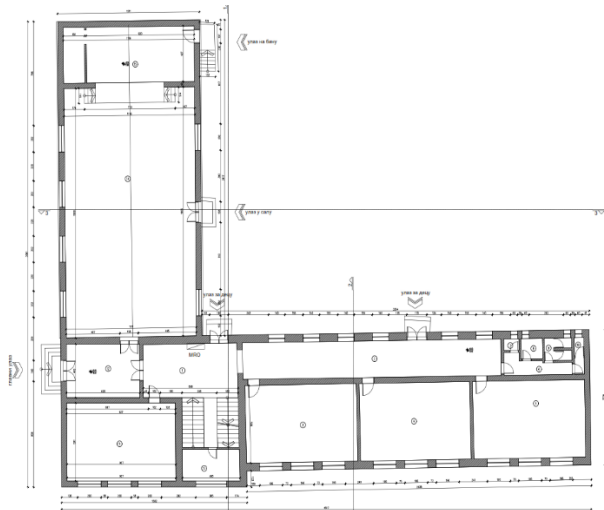
Objekat se nalazi u Kupinovu, adresa: Maršala Tita 1. Zgrada osnovnog obrazovanja je opšteg obrazovnog karaktera namjenjena djeci do 14 godina starosti. Osnovni karakter - klasičan vid škole sa fiskulturnom salom, učionicama, toaletima i kabinetima. Sagrađena je 1955. godine. Školska zgrada je spratnosti Pr+1, a dio sa fiskulturnom salom je prizemni tip objekta. Bruto površina objekta je 1264,22 m<sup>2</sup>. Oba objekta zajedno formiraju u osnovi L oblik (Slike 2 i 3). Fiskulturna sala je dimenzija 24,21x12,11m, a školska zgrada 45,17x10,34 m).

Objekat je fundiran na trakastim temeljima od pune opeke. Noseća konstrukcija objekta je zidana masivna

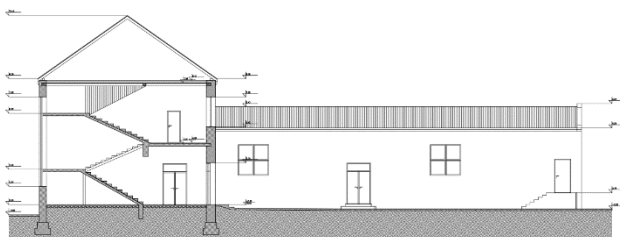
**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

konstrukcija sa nosećim zidanim zidovima u podužnom pravcu. Noseći zidovi su različite debljine. Zidani su od pune opeke standardnog formata i ukručeni su AB horizontalnim serklažima i nosećim poprečnim zidovima u okviru stepenišnog trakta.



Slika 2. Osnova prizemlja



Slika 3. Presjek 1-1

Krovnna konstrukcija nad školskim dijelom objekta je drvena (sistema jednostruka stolica), a krovni pokrivač je crijep.

Noseći zidovi u fiskulturnoj sali su fasadni podužni zidovi na koje se oslanja drvena krovna rešetka. Na drvenu krovnu rešetku je okačena potkonstrukcija spušenog plafona od drveta. Krovni pokrivač je TR lim. Zidovi objekta su obostrano malterisani bez termoizolacije. Bina u fiskulturnoj sali je zidana punom opekam sa oblogom od drvenih elemenata.

## 2.2 Vizuelni pregled objekta i analiza uočenih defekata i oštećenja

Vizuelnim pregledom je ustanovljeno da se od glavnog projekta nije odstupalo, ali je vremenom došlo do promjene namjene nekih od prostorija, ali nije napravljena nijedna konstrukcijska izmjena.

Vizuelnim pregledom su obuhvaćeni: fasadni zidani zidovi sa spoljašnje i unutrašnje strane, unutrašnji zidovi, podna ploča u prizemlju, spušteni plafoni, drvena krovna konstrukcija i AB stepenište.

### 2.2.1 Školska zgrada

Na osnovu vizuelnog pregleda fasadnih zidanih zidova školskog dijela objekta sa spoljne strane uočeni su sledeći **defekti**: 1) Neadekvatan izbor materijala za hidroizolaciju na sastavu sokle sa fasadnim zidom (hidroizolacija je odrađena sa premazom bitulita bez dodatnih elemenata i sintetičkog sloja) i **oštećenja**:

- trošnost materijala opeke na sokli objekta: krunjenje i otpadanje usled dejstva vlage, mraza i soli (slika 4,a),
- trošnost maltera: krunjenje i otpadanje maltera usled dejstva vlage, soli ili mraza na sjeverozapadnom i jugoistočnom dijelu fasadnog zida školskog dijela objekta i starenja materijala (Slika 4,b),
- mehanička oštećenja na fasadnim zidovima uslijed vađenja opeke i uslijed krunjenja slojeva zida za ispitivanje elemenata od kojih je sačinjen fasadni zid.



Slika 4. a) Trošan materijal, krunjenje elemenata opeke uslijed dejstva vlage, mraza, soli, oštećena i dotrajala hidroizolacija, b) Otpadanje, guljenje i ljuštenje maltera i boje sa fasadnih zidova uslijed djelovanja kapilarne vlage

Vizuelnim pregledom se ustanovilo da je AB podna ploča u dobrom stanju, sa tim da su primjećena oštećenja na podnim oblogama: parket u lošem stanju, dotrajlost parketa i pojava truleži u učionicama (Slika 5).



Slika 5. Parket u lošem stanju, trošnost i deterioracija materijala u učionicama, prizemlje

### 2.2.1 Fiskulturna sala

Na osnovu vizuelnog pregleda fasadnih zidanih zidova sa spoljašnje i unutrašnje strane fiskulturne, kao i na podnoj konstrukciji uočena su slična oštećenja i defekti kao na školskoj zgradi.

Spušteni plafon na fiskulturnoj sali je u lošem stanju. Zatečeni su samo neki manji dijelovi plafona na osnovu kojih se ustanovilo da se radi o drvenim oblogama (Slika 6).

### 2.3 Zaključak o stanju objekta

Na osnovu analize dostupne projektno-tehničke dokumentacije, detaljnog vizuelnog pregleda dostupnih dijelova elemenata konstrukcije, izvedeni su zaključci o stanju objekta po pitanju nosivosti, stabilnosti, trajnosti i upotrebljivosti (funkcionalnosti):



Slika 6. Dotrajala drvena krovna konstrukcija i ostaci spušenog plafona

- Iako je objekt star više od 50 godina, zahvaljujući povremenom održavanju, još uvijek je u generalno dobrom stanju,
- Na objektu nisu registrovana ozbiljnija oštećenja materijala od koga je izvedena osnovna noseća konstrukcija,
- Posmatrajući konstrukciju u cjelini, može se zaključiti da nosivost i stabilnost objekta nisu ugroženi, ali trajnost pojedinih elemenata i funkcionalnost objekta su djelimično narušene.

### 3. ENERGETSKA EFIKASNOST - POSTOJEĆE STANJE

Proračun je u svemu sproveden prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada. Sklopovi termičkog omotača školske zgrade i fiskulturne sale su, najprije, podeljeni na transparentne i netransparentne u zavisnosti od slojeva i položaja ovih elemenata.

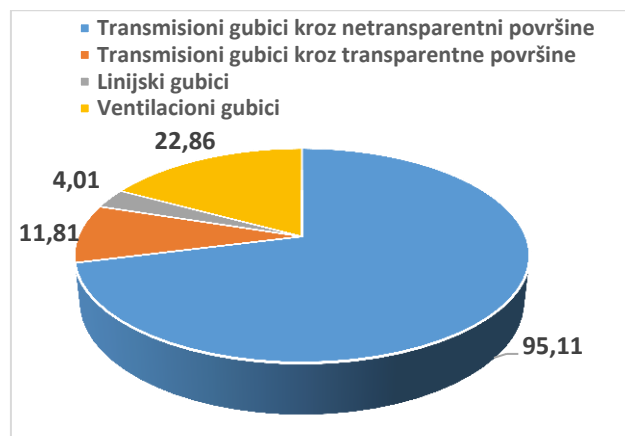
Za svaku od pozicija termičkog omotača urađen je proračun građevinske fizike, koji podrazumjeva određivanje koeficijenata prolaza toplote, a za netransparentne sklopove određeni su i raspored temperatura, minimalna otpornost sklopa, difuzija vodene pare i parametri ljetnje stabilnosti.

Svi analizirani sklopovi su imali veći koeficijent prolaza toplote od pravilnikom propisane vrijednosti.

Nakon izvršenog proračuna za svaku poziciju ponaosob, pristupilo se proračunu toplotnih gubitaka i dobitaka zgrade kao cjeline, u cilju određivanja potrebne energije za obezbjeđenje osnovnih uslova toplotnog komfora. Proračunati gubici toplote prikazani su na slici 7.

Na kraju, proračunata je ukupna potrebna energija za grijanje škole na godišnjem nivou, na osnovu koje je škola svrstana u energetske razred F.

|                                          |
|------------------------------------------|
| $Q_{H,nd} = 196912 \text{ kWh/a}$        |
| $q_{H,nd} = 188 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ |
| $Q_{H,nd,rel} = 250 \%$                  |
| <b>Razred: F</b>                         |



Slika 7. Gubici toplote, postojeće stanje

### 4. ENERGETSKA SANACIJA I ENERGETSKI RAZRED SANIRANOG OBJEKTA

Prilikom proračuna provođenja toplote zaključeno je da svi analizirani sklopovi termičkog omotača zgrade (fasadni zidovi, zid ka negrijanom prostoru, ploča prizemlja, plafonska konstrukcija ka negrijanom prostoru, međuspratna konstrukcija, PVC prozori i vrata) ne zadovoljavaju uslov maksimalnog dozvoljenog koeficijenta prolaza toplote. Za unapređenje energetske efikasnosti objekta predložene su sledeće mjere:

- Spoljnji zidovi su popravljeni Alucobond ventilisanom fasadom, koja u isto vrijeme bolje toplotno izoluje objekat zbog ugrađivanja sloja kamene vune, a i štiti objekat od atmosferilija i time mu povećavajući trajnost (slika 8). Takođe uklanja i glavni uzročnik oštećenja u objektu - atmosfersku vlagu.



Slika 8. Izgled ventilisane fasade (potkonstrukcija, kamena vuna, ploče od Alukobonda)

- U okviru konstrukcije poda, radi poboljšanja energetske efikasnosti, predloženo je dodavanje ekspandiranog polistirena debljine 10cm u sklop. Pošto se radi o podnoj ploči, zbog obezbeđenja građevinskih visina unutrašnjih i spoljašnjih vrata, prozora i pregrada, potrebno je ukloniti postojeću podnu konstrukciju i napraviti novu sa potkopavanjem od 10cm kako bi se u sklop ubacio sloj ekspandiranog polistirena debljine 10cm.
- U okviru međuspratne i plafonske konstrukcije fiskulturne sale, izveden je sistem fiksiranog spušenog plafona, iznad koga je postavljena termička izolacija od staklene vune (slika 9), čime je poboljšana energetska efikasnost objekta.

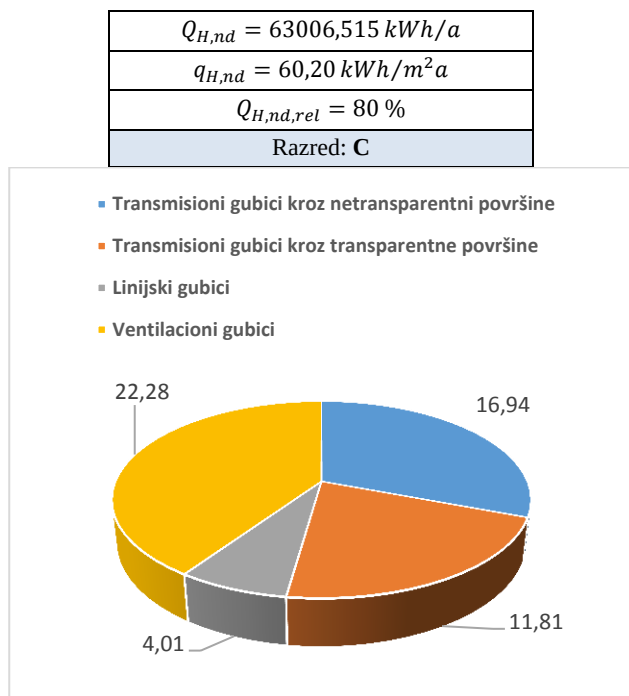




Slika 9. Spušteni plafon: Postavljanje staklene vune i gipskarton ploča na potkonstrukciju

Pri proračunu energetske efikasnosti spoljašnja PVC stolarija nije zadovoljila maksimalni dozvoljeni koeficijent prolaza toplote, međutim, odstupanja od dozvoljenog koeficijenta prolaska toplote su mala, pa se pri ovom unapređenju energetske efikasnosti objekta neće mijenjati spoljna stolarija.

Nakon ponovljenog proračuna energetske efikasnosti na saniranom objektu (Slika 10), on je svrstan u energetski razred C.



Slika 10 - Gubici toplote za energetski sanirani objekat

Sve ostale elemente konstrukcije, koji nisu obuhvaćeni proračunom energetske efikasnosti, je potrebno sanirati odgovarajućim sanacionim rješenjima.

## 5. ZAKLJUČAK

U stručnom dijelu rada izvršena je procjena stanja osnovne škole Dušan Vukasović – Diogen u Kupinovu, analiza energetskih performansi elemenata konstrukcije objekta i energetska sanacija istog. Iako je objekat star više od 50 godina, zahvaljujući povremenom održavanju, još uvijek je u generalno dobrom stanju.

Posmatrajući konstrukciju u cjelini, može se zaključiti da nosivost i stabilnost objekta nisu ugroženi, ali trajnost pojedinih elemenata i funkcionalnost objekta su djelimično narušene.

Proračun energetske efikasnosti je obavljen prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada, „Službeni glasnik RS“ br. 061/2011, objavljenim 19.08.2011. godine. Objekat je kategorizovan u energetski razred F, što predstavlja relativno nisku klasu energetske efikasnosti. Kako bi se u isto vrijeme povećala trajnost objekta, ali i smanjila količina energije potrebne za zagrijavanje, popravljene su karakteristike određenih elemenata objekta:

- Spoljni zidovi su popravljani Alucobond ventilisanom fasadom, koja u isto vreme bolje toplotno izoluje objekat, a i štiti objekat od atmosferilija, time mu povećavajući trajnost.
- U okviru konstrukcije poda, promjenjen je sklop umetanjem dodatnog sloja – ekspandirani polistiren,
- U okviru međuspratne i plafonske konstrukcije fiskulturne sale, izveden je sistem fiksiranog spuštenog plafona, sa odgovarajućom debljinom sloja termoizolacije od staklene vune.

Nakon ponovljenog proračuna energetske efikasnosti na saniranom objektu, on je svrstan u energetski razred C. Budući da se energetska sanacija jednog objekta smatra uspješnom ako se energetski razred podigne za jedan, ova sanacija se smatra više nego uspješnom.

## 6. LITERATURA

- [1] [Gips u enterijeru - \(politika.rs\)](http://politika.rs), preuzeto: 23.06.2021.
- [2] [Spušteni plafoni: knauf ili armstrong \(daibau.rs\)](http://daibau.rs), preuzeto: 23.06.2021.
- [3] [Kako se pravilno spuštaju plafoni – montaža i cena \(video\) \(gradnja.rs\)](http://gradnja.rs), preuzeto: 23.06.2021.
- [4] Projekat postojećeg stanja osnovne škole Dušan Vukasović – Diogen u Kupinovu.
- [5] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrade „Službeni glasnik RS“ br. 61/2011, objavljen 19.08.2011. godine.

### Kratka biografija:



**Stefan Kozić** rođen je u Trebinju 1995.god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Konstrukcije: Oštećenja i sanacija zidanih konstrukcija i Energetska efikasnost, odbranio je 2021.god kontakt: [stefankozic0@gmail.com](mailto:stefankozic0@gmail.com)



**PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA VIŠESPRATNE STAMBENE ZGRADE  
U ULICI VASE PELAGIĆA U NOVOM SADU****ASSESSMENT AND ENERGY RENEWAL OF THE MULTI-STOREY RESIDENTIAL  
BUILDING IN VASE PELAGIĆA STREET IN NOVI SAD**

Bogdan Okanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Rad se sastoji iz dve celine. Prvi deo rada predstavlja teorijsko istraživački deo sa temom „Kontaktne fasade – prednosti i nedostaci“ sa fokusom na ETICS sisteme – fasadne termo izolacione sisteme. U drugom delu rada izvršen je vizuelni pregled višespratne stambene zgrade u Novom Sadu, sa ciljem utvrđivanja postojećeg stanja objekta. Za objekat je urađen proračun energetske efikasnosti. Na osnovu ovog proračuna i vizuelnog pregleda zgrade, predložene su sanacione mere koje povećavaju trajnost objekta i njegovu, energetska efikasnost u skladu sa Pravilnikom o energetska efikasnosti.

**Ključne reči:** Procena stanja, energetska efikasnost, sanacione mere, ETICS sistemi

**Abstract** – The paper consists of two mutually independent units. The first part of the paper presents a theoretical research part with the topic "Contact facades - advantages and disadvantages" with a focus on ETICS systems - facade thermal insulation systems. In the second part of the paper, a visual macroscopic examination of the object was performed, with the aim of determining the existing condition for a multi-storey residential building in Novi Sad. An energy efficiency calculation was performed for the building. Based on this calculation and visual inspection of the structure, remedial measures were given that increase the durability of the building and energy efficiency, regarding the Rulebook on energy efficiency.

**Keywords:** Assessment, energy efficiency, renewal measures, ETICS systems

**1. UVOD**

Rad se sastoji iz dve celine: teorijsko-istraživačkog dela i stručnog dela. U prvom delu rada analiziraju se kontaktne fasade sa fokusom na ETICS sisteme.

Drugi, stručni deo rada, obuhvata vizuelni pregled konstrukcije i njegovu procenu stanja. Dat je detaljan proračun energetske efikasnosti i priložene su sanacione mere za povećanje trajnosti objekta i energetske efikasnosti.

**NAPOMENA:**

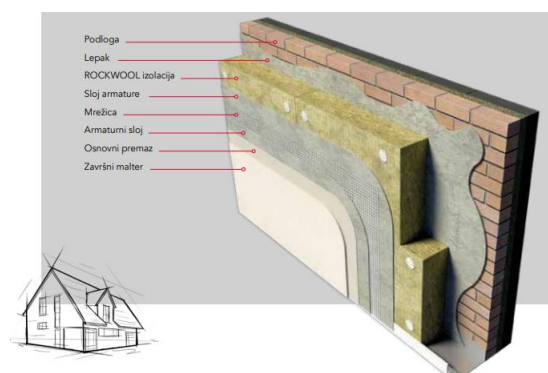
Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji je mentor bio prof. dr Vlastimir Radonjanin.

**2. KONTAKTNE FASADE – PREDNOSTI I NEDOSTACI**

Predstavljaju najčešće rešenje prilikom toplotne izolacije objekta i karakteriše ih izolacija direktno pričvršćena na fasadni zid. Još se nazivaju i ETICS fasade

**2.1. OPŠTE O ETICS SISTEMIMA**

ETICS označava spoljni termoizolacioni kompozitni sistem odnosno kompletan skup komponenata, propisno odabranih i proverenih po pitanju kompatibilnosti. ETICS (Slika 1) se odnosi na nanošenje izolacionog materijala u lepku (obično EPS ili mineralna vuna) na spoljnu površinu zida nakon čega sledi sloj armature i mrežica na koji se stavlja osnovni premaz i završni malter.



Slika 1. Slojevi ETICS sistema

Trajnost sistema za termoizolaciju zavisi od mnogo faktora. Prvi faktor je praćenje smernica pri nanošenju svake od faza koje su propisane od strane proizvođača. Pored propusta poštovanja osnovnih smernica koje dovede do razaranja sistema, najčešći uzrok prerane degradacije izolacionih sistema je nepropisno izrađivanje detalja, koji se rade na osnovu tehničkog projekta.

Pri montaži obratiti pažnju na:

- *Donja ivica termoizolacionih sistema* – prvo pričvrstiti početni profil za zid kojim se postavlja nivo za prvi red ploča (visina sokle mora biti definisana). Neravne podloge mogu dovesti do deformacije fiksnih delova, što se izbegava korišćenjem plastične odstoje podloške za bolju nivelaciju i izbegavanje termičkih mostova. Postavljanje ploča kamene vune izvodi se odozdo prema gore sa horizontalnim pomakom od približno pola ploče;
- *Dilatacioni spojevi* – premošćuju se dilatacionom trakom (poliuretanskom zaptivnom masom);

- *Termoizolacija ivica zgrade* - izolacione ploče na uglu zgrade trebalo bi da se preklapaju naizmenično, formirajući ugao;

- *Okviri prozora i vrata* - posebno su izloženi termičkim mostovima, što dovodi do vlažnih zidova na spojevima drvenarije i do pojave algi i gljivica. Oko ivica može doći do nagomilavanja opterećenja. Termoizolacione ploče isečene u L-obliku postaviti na takav način da se ne dodiruju na ivicama prozora ili drugim otvorima na fasadi. Ispod i iznad uglova prozora, s ciljem sprečavanja povećanog naprezanja, trebalo bi postaviti trake armaturne mreže pod uglom od 45°;

- *Sokla zgrade* - je kritičan deo svake fasade, jer je izložena vodi i jakom mehaničkom naprezanju. Za izolaciju sokli preporučuju se posebne vrste EPS sa povećanom otpornošću na vodu i ploče od ekstrudiranog polistirena – XPS, koje moraju biti savršeno složene;

- *Balkoni i terase* - da bi se osigurao kontinuitet izolacije i smanjili termički mostovi najefikasniji metod je staviti izolaciju sa obe strane celom dužinom ploče odnosno izolacioni se materijal stavlja na dno i na strane.

- *Izvođenje pričvršnica (tipli)* - fasadne ploče mehanički se pričvršćuju pričvršnicama koje moraju da prolaze kroz sloj lepka između ploče i podloge. Prema smernicama proizvođača sistema preporučeno je izvođenje „W – sheme“ pričvršnica.

## 2.2. PREDNOSTI I NEDOSTACI ETICS SISTEMA

### Prednosti:

- *Temperatura prostorije* - zimi toplo, leti prijatno i sveže. Odgovarajuća sobna temperatura pretvara dnevnu sobu u prostoriju koja podstiče fizičku dobrobit. Stanovanje postaje udobnije i zdravije.

- *Konvekција* - toplotna izolacija obezbeđuje uslove da zidovi održe optimalnu temperaturu, što sprečava neprijatan osećaj usled strujanja vazduha (konvekcije).

- *Vlažnost vazduha* - dobra termoizolacija smanjuje potrebu za korišćenjem rashladnih uređaja (leti) i grejanja (zimi) i ima očigledno pozitivno dejstvo na vlažnost vazduha.

- *Nastanak buđi* - odgovarajuća izolacija sprečava nastanak termičkih mostova. To pomaže da se zaustavi pojava kondenzacije, što sprečava nastanak buđi.

- *Ušteda energije* - dobar fasadni termoizolacioni sistem će vam štedeti do 50% troškova grejanja – doživotno.

- *Ušteda na građevinskim troškovima* - pored uštede na troškovima grejanja, primena ETICS sistema može da donese uštedu prilikom građenja, pošto su osmišljeni za primenu na tanjim zidovima. Osim toga, ETICS sistemi praktično ne zahtevaju održavanje.

- *Dizajn* - ETICS sistemi nude skoro neograničene mogućnosti pri projektovanju u smislu stila, strukture i boje.

### Nedostaci:

- *Lako se probija i grebe*

- *Održavanje* - Nanosi peska i prašine lako isprljaju fasadu, čije je čišćenje potom teško i nepraktično. Svaka eventualna popravka oštećenog (udarenog) zida ostavlja fleku.

## 3. PROCENA STANJA ZGRADE

### 3.1. TEHNIČKI OPIS

Stambeni objekat spratnosti Su+P+3+Pk (Slika 2), nalazi se u ulici Vase Pelagića u Novom Sadu. Objekat se pruža u pravcu sever-jug. Oblik objekta je približno pravougaoni, u osnovi dimenzija 29.5m x 18.5m. Objekat ima jedan ulaz sa strane ulice Vase Pelagića i pasaż za ulaz u garažu i prilaz auto liftu. Objekat je po svojoj nameni poslovno-stambeni. U prizemlju su predviđena 4 lokala svaki sa pripadajućim mokrim čvorom. Na spratovima su projektovana po četiri stana na etaži i to na tipskim spratovima I-II-III dva dvosobna, jedan trosoban i jedan četvorosoban.

U potkrovlju je projektovan dvosoban, trosoban, troiposoban i četvoriposoban stan na dva nivoa (dupleks). Objekat je prema tipu vertikalnih nosećih elemenata – skeletna konstrukcija sa platnima za ukrucenje i krutim tavanicama. Obodni zidovi su armiranobetonski do visine suterena, obloženi hidroizolacijom i termoizolacijom. Od visine suterena su zidani blokovima takođe obloženi termoizolacijom.

Međuspratna konstrukcija iznad suterena je AB puna monolitna ploča koja nosi u dva pravca. Ostale međuspratne konstrukcije su polumontažne, sitnorebraste tipa fert (visina gredica 16cm + 5cm betonska ploča) ukupne debljine 21 cm. Temeljna ploča je puna AB ploča različite debljine od d=35cm do d=50cm. Spratna visina iznosi 291 cm, a čista visina od gotovog poda do tavanice iznosi 260 cm.



Slika 2. Stambeni objekat

Krov je dvovodni, drveni. Nagib krovnih ravni je različit i iznosi 12°, 26° i 33°, a pokrivanje je izvršeno sa dvostrukim biber crepom. Odvod vode sa krova je predviđen olučnim vertikalama 12x12cm. Olučne horizontale su u padu prema vertikalama 1.5%.

Spoljašnji zidovi su rađeni u vidu DEMIT fasade. Unutrašnji zidovi su od blokova debljine d=25 cm ili 12 cm u produženom malteru. Zidne površine su gletovane i farbane posnom bojom.

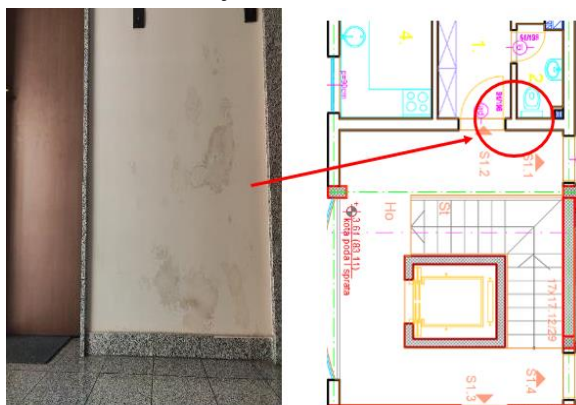
### 3.2 PROCENA STANJA OBJEKTA

Prilikom procene stanja konstrukcije obavljen je vizuelni pregled spoljašnjeg i unutrašnjeg dela objekta (suteran i hodnici svih etaža). Proverene su dimenzije dostupnih elemenata konstrukcije i njihova usklađenost sa projektom predviđenim dimenzijama. Pregledom je utvrđeno da se od glavnog projekta nije odstupalo. Dominantna oštećenja se javljaju u suterenskom delu garaže gde je primetna veća količina vlage u zidovima. (Slika 3) kao i poprilično nemarna obrada zidova suterena – zaostala oplata, vidljiva armatura, odvaljene ivice..



Slika 3. Vлага u zidovima suterena

Pored oštećenja u suterenu, u dva stana je uočena vlaga u zidovima koja je nastala kao posledica pucanja vodonih instalacija. (slika 4). Pored tih, u hodnicima nisu uočena veća oštećenja.



Slika 4. Vлага u zidovima 1. i 3. sprata

### 3.3 ZAKLJUČAK

Sva registrovana oštećenja ne utiču na nosivost, stabilnost i trajnost konstrukcije. Trajnost objekta je smanjena na pojedinim elementima. Pukotine treba sanirati tehnikom zasecanja i zapunjavanja.

Na mestima gde je vidljiva armatura potrebno izvršiti reprofilaciju i premazivanje armature antikoro- zionim premazima.

Prsline i sitne pukotine na objektu potrebno je sanirati popunjavanjem sa zaptivnom masom bez prethodnog zasecanja.

## 4. ELABORAT ENERGETSKE EFIKASNOSTI

### 4.1. GRAĐEVINSKA FIZIKA

Pri proračunu energetske efikasnosti urađen je kompletan proračun prolaza toplote kroz građevinske elemente koji čine termički omotač zgrade, proračun difuzije vodene pare, proračun gubitaka i dobitaka toplote, i na kraju proračun godišnje potrebne finalne energije za grejanje.

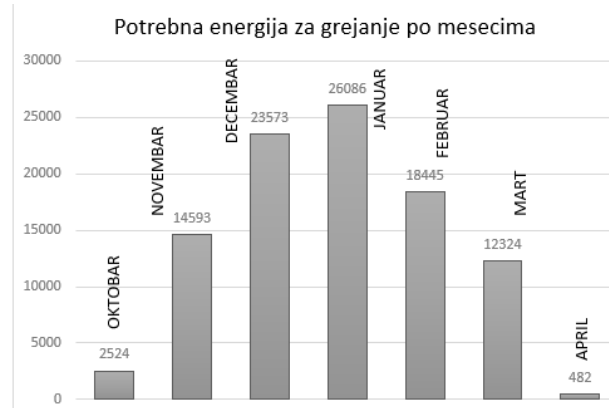
Ovim proračunom je zaključeno da je postojeći objekat trenutno energetskog razreda D i da ne zadovoljava energetske zahteve za postojeće objekte prema Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada.

U Tabeli 1 dat je pregled koeficijenata prolaza toplote kroz termički omotač objekta.

| ELEMENTI                      | POZICIJA | U[W/m <sup>2</sup> K] | U <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> K] | USLOV ZADOVOLJEN |
|-------------------------------|----------|-----------------------|---------------------------------------|------------------|
| Spoljashnji zidovi            | Z1       | 0.652                 | 0.4                                   | NE               |
|                               | Z2       | 0.545                 | 0.4                                   | NE               |
| Zidovi ka negrejanom prostoru | Z3       | 2.284                 | 0.55                                  | NE               |
|                               | Z4       | 1.351                 | 0.55                                  | NE               |
| MK iznad negrejanog           | P1       | 0.566                 | 0.4                                   | NE               |
|                               | P2       | 0.573                 | 0.4                                   | NE               |
|                               | P2       | 0.53                  | 0.4                                   | NE               |
| Ravan krov iznad negrejanog   | P3       | 3.5                   | 0.2                                   | NE               |
|                               | P4       | 2.14                  | 0.2                                   | NE               |
| MK ispod negrejanog           | P4       | 0.642                 | 0.4                                   | NE               |
|                               | P4       | 0.575                 | 0.4                                   | NE               |
| Kosi Krov                     | P5       | 0.335                 | 0.2                                   | NE               |
|                               | P5       | 0.343                 | 0.2                                   | NE               |
| Prozori                       | PR1      | 2.948                 | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR2      | 2.953                 | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR3      | 2.91                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR4      | 2.89                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR5      | 2.91                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR6      | 2.93                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR7      | 1.75                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR8      | 1.76                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR9      | 1.75                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR10     | 1.64                  | 1.5                                   | NE               |
| Vrata                         | VR1      | 2.72                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | VR2      | 2.72                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | VR3      | 1.9                   | 1.5                                   | NE               |

Tabela 1. Koeficijent prolaza toplote pre sanacije

Na Grafiku 1 prikazan je dijagram potrebne energije u kWh za grejanje po mesecima. Ukupna godišnja potrebna energija za grejanje je 98026 kWh/a, dok je specifična potrebna godišnja energija 73,95 kWh/m<sup>2</sup>a.



Grafik 1. Dijagram potrebne energije u kWh za grejanje po mesecima

## 5. MERE ZA UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI

U cilju poboljšanja energetske potreba i svojstava zgrade predviđena je sledeća sanacija pojedinih zidova, delova međuspratnih konstrukcija i fasadnih prozora. Spoljašnji zidovi su već sistema sličnog ETICS sistemu te oni neće biti unapređivani. Unutrašnji hodnički zidovi su unapređeni dodavanjem ogovarajuće debljine ETICS sistema. Međuspratna konstrukcija suterena, međuspratna konstrukcija iznad skloništa i garaže ne zadovoljavaju zahteve u pogledu maksimalnog koeficijenta prolaza toplote. Predlaže se poboljšanje u vidu postavljanja stiropora sa donje strane. Međuspratna konstrukcija ka negrejanom tavanom prostoru biće takođe, poboljšana stiroporom sa gornje strane. Debljina sloja kamene vune, odnosno ekspaniranog polistirena, određena je iz uslova zadovoljenja maksimalnog dozvoljenog koeficijenta prolaza toplote. Za potrebe proračuna ETICS sistema korišćene su tehničke karakteristike proizvođača "ROCKWOOL". Za sve ostale tehničke karakteristike su uzete iz Pravilnika o energetske efikasnosti zgrada ("Sl.glasnik RS", br. 61/2011, Beograd). Pored zidova

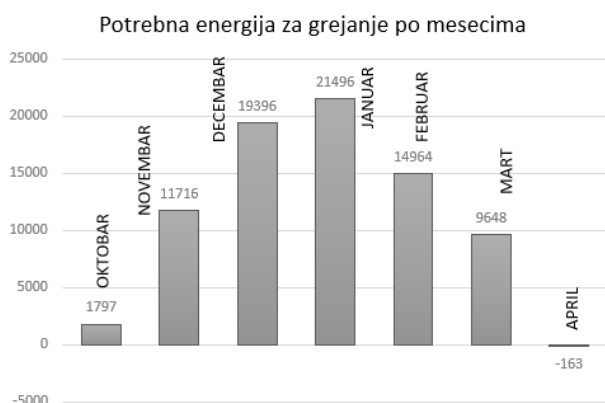


vršena je zamena fasadnih prozora ge je menjano staklo (prozirno u niskoemisiono): U Tabeli 2 dat je pregled koeficijenata prolaza toplote kroz termički omotač objekta posle energetske sanacije.

| ELEMENTI                      | POZICIJA | U[W/m <sup>2</sup> K] | U <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> K] | USLOV ZADOVOLJEN |
|-------------------------------|----------|-----------------------|---------------------------------------|------------------|
| Spoljarnji zidovi             | Z1       | 0.652                 | 0.4                                   | NE               |
|                               | Z2       | 0.545                 | 0.4                                   | NE               |
| Zidovi ka negrejanom prostoru | Z3       | 0.377                 | 0.55                                  | DA               |
|                               | Z4       | 0.338                 | 0.55                                  | DA               |
| MK iznad negrejanog           | P1       | 0.334                 | 0.4                                   | DA               |
|                               | P2       | 0.3104                | 0.4                                   | DA               |
| Ravan krov iznad negrejanog   | P3       | 3.5                   | 0.2                                   | NE               |
| MK ispod negrejanog           | P4       | 0.345                 | 0.4                                   | DA               |
| Kosi Krov                     | P5       | 0.341                 | 0.2                                   | NE               |
| Prozori                       | PR1      | 1.87                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR2      | 1.84                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR3      | 2.08                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR4      | 1.91                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR5      | 1.86                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR6      | 1.94                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR7      | 1.75                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR8      | 1.76                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR9      | 1.75                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | PR10     | 1.64                  | 1.5                                   | NE               |
| Vrata                         | VR1      | 2.72                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | VR2      | 2.72                  | 1.5                                   | NE               |
|                               | VR3      | 1.9                   | 1.5                                   | NE               |

Tabela 2. Koeficijent prolaza toplote nakon sanacije

Na Grafiku 2 prikazan je dijagram potrebne energije u kWh za grejanje po mesecima. Ukupna godišnja potrebna energija za grejanje je 78853 kWh/a, dok je specifična potrebna godišnja energija 59,49 kWh/m<sup>2</sup>a.



Grafik 2. Dijagram potrebne energije u kWh za grejanje po mesecima nakon izvršene sanacije

Nakon uvođenja predloženih mera za termičku sanaciju i ponovnog proračuna energetske efikasnosti, potreba za

energijom na godišnjem nivou sa značajno smanjila. Energetski razred se popravio i sada objekat pripada C razredu.

Objekat sada zadovoljava uslove po pitanju energetske efikasnosti u skladu sa Pravilnikom o energetske efikasnosti (Sl. glasnik RS br.061/2011).

## 6. LITERATURA

[1] Inženjerska komora Srbije: Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, "Sl.glasnik RS", br. 61/2011, Beograd

[2] Inženjerska komora Srbije: Pravilnik o tehničkim zahtevima bezbednosti od požara spoljnih zidova zgrada, "Sl.glasnik RS", br. 59/2016, 36/2017 i 6/2019 Beograd

[3] Malešev M., Radonjanin V.: Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

[4] Radonjanin V., Malešev M.: Sanacija betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

[5] Rešenja i proizvodi ROCKWOOL: [www.rockwool.rs](http://www.rockwool.rs)

[6] Glavni arhitektonski projekat broj E-20/08 izrađen od strane URBIS DOO, u Novom Sadu.

### Kratka biografija:



**Bogdan Okanović** rođen je u Novom Sadu, 1994. godine. Osnovne akademske studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine, iz oblasti građevinarstvo – konstruktivni smer. Diplomski rad radilo je iz predmeta Organizacija građenja. Master akademske studije smer – konstrukcije upisao je iste godine. Master rad iz oblasti Procena stanja i sanacija konstrukcija, uradio je i odbranio u 2021. godini.



**ANALIZA KARAKTERISTIKA BRZOG AUTOBUSKOG PREVOZA****ANALYSIS OF BUS RAPID TRANSPORT CHARACTERISTICS**

Vesna Mihajlović, Pavle Pitka, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – SAOBRAĆAJ**

**Kratak sadržaj** – U radu su iznete karakteristike brzog autobusnog prevoza. Analizirane su tehnološke komponente koje diferenciraju brzi autobuski prevoz od klasičnog autobusnog prevoza. Izvršena je klasifikacija brzog autobusnog prevoza u odnosu na primenjene tehnološke komponente.

**Ključne reči:** Javni prevoz, Autobus, Brzi autobuski prevoz

**Abstract** – This paper presents the characteristics of bus rapid transport. Technological components that differentiate fast bus transport from classic bus transport are analyzed. The classification of fast bus transport in relation to the applied technological components has been performed.

**Keywords:** Public transport, Bus, Bus rapid transport

**1. UVOD**

U doba sve većeg naseljavanja gradova, ulice istih vrlo često postaju preza gušene što dovodi do saobraćajnog kolapsa. Rešenje takvih problema nalazi se u javnom prevozu visokih performansi, koji iziskuje velike troškove i najčešće podrazumeva izgradnju metroa. Iako je Laki šinski prevoz (LRT) često promovisan kao jeftinije rešenje za ove probleme, progresivno se pojavljuju alternative, između ostalog je tu i brzi autobuski prevoz (BRT) [1].

BRT je podsistem koji funkcioniše samostalno ili integrisano sa drugim podsistemima javnog prevoza. BRT se pojavio poslednjih godina kao efikasan, ekonomičan i visoko kvalitetni podsistem javnog prevoza putnika. Kada se uzmu u obzir troškovi životnog ciklusa (operacije i održavanja), troškovi obezbeđivanja integrisanih BRT-a velikog kapaciteta su atraktivna opcija u mnogim kontekstima.

BRT je generalno većeg standarda od konvencionalnih autobusa zbog toga što pruža povećanu pouzdanost, tačnost, kraće vreme putovanja, takođe pruža i veće kapacitete putnika što zahteva dodatna ulaganja i poboljšanja infrastrukture, vozila i sistema [2].

Kako je BRT relativno nov način transporta postoje različite definicije i tumačenja o tome šta BRT predstavlja i postoji mnogo različitih oblika BRT-a u radu širom sveta.

Koncept sistema definisan je na osnovu ispitivanja i procene tipičnih komponenti i karakteristika koje čine BRT.

S obzirom da postoje različiti stavovi koji elementi treba da budu implementirani u jedan autobuski sistem kako bi postao BRT u okviru ovo grada će biti prikazane sve komponente BRT i biće izvršena kategorizacija BRT od autobusa do punog BRT u zavisnosti od primenjenih komponenti.

**2. ISTORIJA BRT-A**

Prvi brzi autobuski prevoz u svetu bio je Rede Integrada de Transporte (RIT integrirana transportna mreža) [3] primenjen u Kuritibi u Brazilu 1974. godine (Slika 1). Većina elemenata koje su pripale BRT bile su inovacije koje je prvi predložio gradonačelnik Kuritiba Džejm Lerner. U gradu koji se širio neverovatnom brzinom gužve u saobraćaju su postale svakodnevnica, a ovaj problem je zahtevao brzo i jeftino rešenje.

S obzirom na to da bi izgradnja metroa postala još veći problem po saobraćaj, stručnjaci su došli do radikalnog rešenja: napraviti autobuski sistem nalik metrou i izdvojiti ga iz saobraćaja. Tako se rodila ideja o brzom autobuskom prevozu, među kojima je prvi otvoren baš u ovom gradu 1974. godine.

Od tada, oko dve stotine zglobnih i dvozglobnih visokopodnih autobusa, mahom na šasijama Volvo, prevoze nešto više od pola miliona putnika dnevno na sedam linija. Radi skraćivanja vremena ukrcajanja putnika, karte se naplaćuju na ulasku u stanicu, a ista se nalazi u visini poda autobusa.

Na stanici vozači poravnavaju vrata autobusa sa vratima na stanici i automatski se spuštaju rampe koje lako i bezbedno omogućavaju protok putnika, pa i hendikepiranih lica.

Grad je postao uzor celom svetu za razvoj gradskog saobraćaja, a dobio je i nagradu od Ujedinjenih nacija za najinovativniji grad.



Slika 1. BRT u Kurtibi, Brazil

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Pavle Pitka, docent.

U Kanadi, transportni sistem u Otavi, OCTranspo, predstavio je prvi element svog brzog autobusnog prevoza 1973. god., odvojene autobuske trake kroz centar grada sa platformnim zaustavljanjima. Međutim, politička i građevinska odlaganja značila su da se u vođenje prvih ekskluzivnih autobusa nije dogodilo pre 1983. godine. U SAD-u, BRT je uveden 1977. god u Pittsburgu. Ovaj sistem je vršio prevoz saobraćajnim trakama dužine 6,9 km.

U Ekvadoru, gradu Kito, 1995. Godine otvoren je sistem BRT. U Kolumbiji u glavnom gradu Bogoti uveden je brzi autobuski prevoz 2000.god. pod nazivom „Trans Milenio”, to je bio prvi sistem koji je kombinovao najbolje elemente Kuritibinog BRT-a sa drugim BRT sistemima i uspeo je da postigne najveći kapacitet i da postane najbrži BRT na svetu (sl. 2).

U januaru 2004. Godine u Džakarti u Indoneziji, otvoren je prvi BRT u Aziji pod nazivom Trans Džakarta, trenutno to je BRT sa najdužom mrežom linija, koja iznosi 210 km.



Slika 2. BRT u Bogoti

Drugačiji pristup filozofiji BRT-a prikazao je grad Adelejd u Australiji. Ovaj grad je razvio takozvani sistem „O-Bahn“ koji podrazumeva potpunu izolaciju autobusnog saobraćaja od ostalog. Autobusi između stanica u tom sistemu saobraćaju brzinom od 100 kilometara na čas, a upravljanje vozilom je prepušteno horizontalno postavljenim točkicama na bočnim stranama autobusa tako da vozači na ovim deonicama samo dodaju gas i koč. Na stanicama se ovaj sistem na kratko prekida pa vozači preuzimaju volan kako bi stali na stanicu. Ovaj sistem je dugačak oko 12 kilometara i u sebi sadrži tri stanice, sa ciljem da što pre doveze putnike iz severnih predgrađa do centra. Otvoren je 1984. godine (Slika 3).



Slika 3. BRT u Adelajdu, Australija

### 3. OSNOVNI ELEMENTI BRT-A

Širom sveta postoji veliki broj BRT-a koji imaju različite elemente i različite karakteristike. U daljem delu rada će biti detaljno izložen i osnovni ključni elementi BRT sistema, a to su: BRT saobraćajne trake; BRT stajališta; BRT vozila.

#### 3.1. BRT saobraćajna traka

Osnovni i najbitniji element BRT-a su saobraćajne trake rezervisane za BRT vozila. One omogućavaju BRT vozilima da rade pouzdano i sa velikom brzinom. Na kvalitet usluge u najvećoj meri utiče stepen zavisnosti BRT sistema od mešovitog saobraćaja. Najbolje performanse BRT-a se postižu potpunim odvajanjem od mešovitog saobraćaja.

BRT saobraćajne trake se dele na tri osnovna tipa, to su:

- Izdvojene namenske trake;
- Srednje namenska traka u centru kolovoza;
- Bočne namenske trake koje se nalaze uz ivicu kolovoza.

Izdvojene namenske trake se obično povezuju sa brzim autobuskim prevozom velikog kapaciteta, dok su srednje i bočne namenske trake povezane sa umerenim kapacitetima BRT-a. Lokacijski uslovi i ograničenja u velikoj meri određuju tačnu lokaciju BRT saobraćajnih traka.

Svaka od ovih vrsta ima svoje prednosti i mane. Potrebno je analizirati njihove prednosti i mane da bi se utvrdilo koja vrsta je najpogodnija za određeni grad odnosno oblast grada u zavisnosti od uslova odvijanja saobraćaja.

Prednosti kada su u pitanju dve trake su te što se trake proširuju kako bi se napravio prostor za zaustavljanje. Ove trake su pogodne i za bicikliste koji ih koriste. Sigurnije su i lake za upotrebu biciklistima. Jos jedna od bitnih prednosti je i poboljšanje sigurnosti putnika na stajalištima. S druge strane, najznačajniji nedostatak je što autobusi koji saobraćaju ovim trakama mogu imati potencijalni sukob sa okolinom. Najčešće zbog parkinga, isporuke ili susedne saobraćajne trake. Takođe nedostatak je i potencijalni sukob uzrokovan promenom saobraćajnica koji prelaze u namensku traku.

Pored dve trake, postoje i dvosmerne trake. U praksi prilikom upotrebe ovih traka moguće je postići veće brzine. Takođe smanjeni su konflikti sa pristupom stambenim zgradama i lakši je pristup uslugama kao što je sakupljanje otpada i parkiranje u direktnom kontaktu sa preduzećem i stanovanjem. Glavni nedostaci su to što ovakva organizacija zauzima više prostora, naročito oko stanica i otežan je pristup pešacima jer moraju da pređu put do pristupne stanice.

Treći oblik organizacije namenskih traka su dvosmerne trake na istoj strani. Korisno je u slučajevima urbanih planova (pristup stanovništvu, preduzeću). Automobili voze u suprotnom pravcu do najbližih autobusa što utiče na poboljšanje sigurnosti.

Što se tiče nedostataka moguće je javljanje operativnih problema pri kontrolama. Izražena je smanjena bezbednost za bicikliste koji koriste ove trake. Potencijalni su i problem vezani za saobraćaj na raskrsnicama i pristup stanovništvu.



### 3.2. BRT stajališta

BRT stajališta predstavljaju značajni napredak u odnosu na redovne autobuse (Slika 4). Osnovna karakteristika BRT stajališta u odnosu na klasične autobuse je zatvoreni sistem naplate karata, odnosno putnici ne mogu da stupe u sistem BRT (uđu na stajalište), a da pre toga nije izvršeno čekiranje/kupovina karte.

Zatvoreni sistem naplate omogućava brzu izmenu putnika, odnosno minimalna zadržavanja na stajalištima, što samim tim značajno povećava prevoznu brzinu BRT-a [4]. Međutim sa druge strane postoje brzi autobuski prevozi (nižih kapaciteta) bez karakterističnih BRT stajališta sa zatvorenim sistemima naplate. To se uglavnom brzi autobuski prevozi nižih performansi i kapaciteta.



Slika 4. BRT stajalište

Takođe savremena BRT stajališta putnicima pružaju informacije u realnom vremenu koje se odnose na BRT uslugu.

### 3.3. BRT vozila

Tipovi autobusa koji se danas primenjuju u BRT se značajno razlikuju po dizajnu, kapacitetu, i dr.

Od niskopodnih gradskih autobusa u BRT malih kapaciteta, do duplih zglobnih vozila u BRT velikih kapaciteta (Slika 5).



Slika 5. Tipovi BRT vozila [4]

Vozila primenjena u brzom autobuskom prevozu se mogu svrstati u četiri osnovne kategorije: solo autobusi, zglobni autobusi (umereno do velikog kapaciteta), autobusi sa dva zgloba (velikog kapaciteta), solo autobusi sa duplom platformom [4].

## 4. KAPACITET BRT-A

Ključno pitanje u vezi sa bilo kojim sistemom javnog prevoza uključujući BRT je njegova sposobnost da ima dovoljan kapacitet za prevoz kako bi zadovoljio postojeću potražnju i rezervne kapacitete da bi zadovoljio buduću potražnju i kako bi ispunila svoje transportne potrebe i ciljeve. Tradicionalno gledište je da sistemi BRT-a imaju kapacitete od 2000 do 6000 putnika na čas po smeru. Međutim BRT koji imaju primenjene sve prethodno navedene elemente i koriste vozila najvećeg kapaciteta dostižu prevoznu moć metroa oko 40.000 putnika na čas [5]. Veliki kapacitet BRT se obično primenjuje u Južnoj Americi, Jugoistočnoj Aziji i Africi. U navedenim zemljama BRT su zamena za metro.

Umereni sistemi BRT poput francuskog koncepta „Bus sa visokim nivoom usluga“ koji imaju kapacitete obično manje od LRT, ali u nekim slučajevima odgovaraju ili prelaze LRT, primer za to je grad Nant. Umereni kapacitet BRT takođe se može sresti u Severnoj Americi, nekim delovima Evrope i Australiji.

U Tabeli 1 prikazano je više gradova koji imaju BRT i kapacitet tih BRT-a. [5]

Tabela 1. Prikaz kapaciteta BRT-a iz različitih gradova [5]

| Lokacija  | Putnika po satu po smeru | Putnika po danu | Dužina (km) |
|-----------|--------------------------|-----------------|-------------|
| Bogota    | 35.000-40.000            | 2 154 963       | 113         |
| Guangzhou | 26.900                   | 1 000 000       | 22          |
| Kuritiba  | 13.900-24.100            | 508 000         | 81          |
| Istanbul  | 7300-19.500              | 906 000         | 52          |

## 5. ZAKLJUČAK

U skladu sa prethodno iznetim u radu, a u zavisnosti od primenjenih elemenata, brzi autobuski prevozi se mogu podeliti na tri tipa:

1. BRT „lite“ – Klasičan autobus, prioritet na raskrsnicama, delimično izdvojena trasa, otvoreni sistem naplate, delimično poboljšane prevozne brzine;
2. BRT „standardni“ – Specijalni autobusi širokih vrata i srednjeg kapaciteta, izdvojena trasa, otvoreni sistem naplate;
3. BRT „potpuni“ – Specijalni autobusi širokih vrata i velikog kapaciteta, izdvojena trasa, zatvoreni sistem naplate, visoka frekvencija usluge, značajno povećanje prevozne brzine.

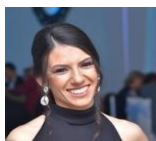
BRT se ponekad smatraju srednjim režimom pružanja usluge između konvencionalnih autobusa i LRT-a u pogledu performansi i troškova ulaganja. Takođe postoji zona preklapanja između gornjeg nivoa kapaciteta BRT-a i donjeg nivoa kapaciteta LRT-a. U svetu su samo par BRT-a dostigli kapacitete metroa.

Iz svega prethodno iznetog može se zaključiti da je, posmatrano u odnosu na klasičan autobuski sistem, BRT novi, odvojeni sistem sa svojim specifičnim oblastima primene, koji se lako mogu prilagoditi potrebama svakog grada.

## 6. LITERATURA

- [1] Vučić, V., *“Urban transit systems and technology”*, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [2] Carrigan, A., King, R., Velasquez, M.J., Duduta, N., Raifman, M., *“Social, environmental and economic impacts od BRT systems”*, World Resources Institute, 2013.
- [3] <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/>
- [4] *Bus Rapid Transit (BRT) – Core Dublin Network*, National Transport Authority, Dublin, 2012.
- [5] Wright, L., & Walter, H.. *The BRT Planning Guide*. In Itdp, 2017.

### Kratka biografija:



**Vesna Mihajlović** rođena u Bijeljini 1992.god. Bechelor rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Kombinovanog transporta - Sistemski pristup: Intermodalni transport, odbranila je 2016.god. Kontakt: vesna.mih@hotmail.com



**Pavle Pitka** rođen je u Šašincima 1983. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. god., a od 2017. je zaposlen u zvanju docent. Oblast interesovanja su sistemi javnog prevoza.



**КРИПТОГРАФИЈА И УСЛУГЕ ОД ПОВЕРЕЊА У ПОШТИ****CRYPTOGRAPHY AND TRUSTED SERVICES IN THE POST OFFICE**Ружица Петровић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – САОБРАЋАЈ**

**Кратак садржај** – Електронско пословање захтева сигурност у комуникацији између корисника. У овом раду презентована је криптографија, безбедност на мрежи сертификациона тела, електронски сертификати и временски жиг.

**Кључне речи:** криптографија, безбедност на мрежи, електронски сертификати, временски жиг

**Abstract** – E-business requires security in communication between users. This paper presents cryptography, online security certification bodies, electronic certificates and timestamp.

**Keywords:** cryptography, network security, electronic certificates, time stamp

**1. УВОД**

Време савремене економије и модерног друштва немогуће је замислити без коришћења информационо-комуникационих технологија.

Данашње друштво све више зависи од информационо-комуникационих технологија. Велика количина личних података преноси се путем различитих комуникационих уређаја или се само чува на њима. Из тог разлога, електронске комуникације и информационо-комуникационе технологије постају једна од најрањивијих тачака заштите приватности појединаца.

Да би испунили своју улогу, информациони и комуникациони системи треба увек да буду поуздани и на располагању корисницима, поверљивост информација које се преносе и чувају не сме бити угрожена, а корисници морају бити сигурни и у идентитет пошиљаоца и у то да је примљена информација идентична послатој.

Циљ овог рада јесте да укаже на начине заштита приватности корисника и безбедност на мрежи.

Након увода, у другом поглављу описана је безбедност на мрежи. Дефинисан је циљ безбедности на мрежи, наведене су особине сигурне комуникације, затим су представљене врсте напада на мрежи, како их разликовати и дате су њихове основне карактеристике.

Треће поглавље односи се на историјски развој криптографије, увод у криптографију, принципе криптографије, начину шифровања и алгоритмима за шифровање такође и дистрибуцији кључева у

асиметричним и симетричним криптографским системима.

У оквиру четвртог поглавља обрађене су услуге од поверења у пошти и сертификационо тело.

Пето поглавље односи се на електронске сертификате у оквиру кога су описани оперативни захтеви у процесу издавања сертификата, контроле физичког приступа, процедура, овлашћених лица и техничке заштите, као и права и обавезе издаваоца и корисника сертификата.

У шестом поглављу објашње је електронски временски жиг, поступак његовог издавања, животни циклус кључева TSA сервера, физичко обезбеђење, контрола приступа, као и остале процедуре.

У седмом поглављу приказана је детаљна анализа анкете која је спроведена за потребе овог рада. Тема анкете је била Електронски сертификати.

Осмо поглавље односи се на закључна разматрања анализе анкете.

Последње поглавље се односи на закључна разматрања која су донета на основу проучене материје.

**2. БЕЗБЕДНОСТ НА МРЕЖИ**

Као најзаступљенији медијум за пренос података користе се рачунарске мреже. Као такве логично представљају уско грло по питању сигурности информација које се тим путем преносе, јер може доћи до: крађе података, читања туђих порука, мењања туђих порука, приступ недозвољеним системима, негирање ауторства, лажно представљање. Безбедна комуникација ће бити представљена на следећем примеру.

Особа А шаље поруку особи Б, при томе особа А жели да само особа Б разуме написану поруку, чак и ако се комуникација врши преко небезбедног медијума где постоји могућност да улез пресретне поруку. Особа Б такође жели бити сигурна да је порука која је примљена заиста послата од особе А. Особе које комуницирају желе бити уверене да се садржај поруке није променио у транзиту [1].

Мере за заштиту података уопште, се заснивају на три принципа:

- Превенција - односи се на предузимање превентивних активности за заштиту података и рачунарских система од могућих напада
- Детекција - откривање како је нарушена заштита, када је нарушена и ко је нарушио
- Реакција - предузимање активности које доводе до рестаурације података или до рестаурације рачунаског система.

**НАПОМЕНА:**

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је била др Драгана Шарац, ред. проф.

Сви напади на податке који се преносе мрежом се могу поделити у две групе:

- Пасивни напади - односе на сва прислушкивања и надгледања информација током преноса, без икаквих измена
- Активни напади - сви напади који врше промену садржаја или тока информација.

### 3. КРИПТОГРАФИЈА

Криптографија је вештина и наука да се одређена информација – порука проследи на тајни начин. Омогућава да се поверљиве информације ускладиште или пренесу преко мреже која је небезбедна, тако да могу бити само прочитане од стране оног коме је намењена порука.

Поступак помоћу кога се изворни текст трансформише у шифрован текст се назива криптовање. Криптовање омогућава да ниједан корисник, осим корисника коме је порука намењена, не може да сазна садржај поруке.

Ако неовлашћени корисници дођу у посед криптованог текста и виде његов садржај не могу га протумачити.

Поступак који омогућава да се од криптованог текста добије оригинални изворни текст назива се декриптовање.

Декриптовање односно дешифровање представља инверзни поступак од криптовања [2].

#### 3.1. Кратак историјски преглед

Криптографија као средство за заштиту информација датира још од појаве првих писама, када је било неопходно пренети поруку на даљину и то сачувану од туђих нежељених погледа.

У 5. веку п.н.е. Спартанци су користили нараву за шифровање која се називала скитал. То је био дрвени штап око којег се намотавао лист папируса на који се дуж штапа писала порука.

Након уписивања поруке, папир се одмотавао, а на њој би остали измешани знакови које је могао прочитати само онај ко је имао штап једнаке дебљине.

У 6. веку п.н.е. у делу Библије, Књиге о Јеремији, коришћена је једноставна шифра која изврше абечеду наопако. Шифра је позната под именом Атбаш.

Грчки писац Полибије у 2. века п.н.е. објаснио је замену слова бројевима употребом табеле. Данас је тај систем познат под називом шаховска плоча. Она се састојала од 5 редова и 5 колона, односно од 25 поља у која су уношена слова.

Прве методе криптовања је користио Јулије Цезар када је слао поруке својим војсковођама. Он је те поруке шифровао тако што је слова у тексту померао за три места у алфabetу. Такву поруку могли су да дешифрију само они који су познавали правило померања.

Године 1518. Јоханес Тритемијус је написао прву штампану књигу о криптографији.

Око 1790. Томас Џеферсон је уз помоћ математичара Др. Роберта Патерсона изумео шифарник с точком, 1861. у патентном заводу у САД пријављен је први изум везан за криптографију а 1923. Артур Шербиус производи свој најславнији производ - широко познату Енигму [3].

#### 3.2. Методе шифровања

Супституционо шифровање је шифровања код кога се свако слово или група слова замењује другим словом или групом слова за прикривање. Супституционо шифровање обухвата следеће врсте замена:

- Моноалфabetска замена
- Полиалфabetска замена
- Полиграмска замена

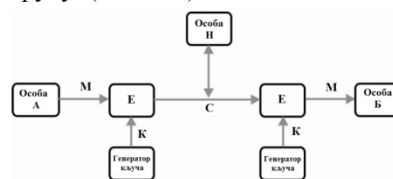
Транспозиционо шифровање не скрива слова отвореног типа али им мења распоред. Оваква шифра као кључ има реч или фразу у којој се не понавља ни једно слово.

#### 3.3. Симетрична криптографија

Симетрична криптографија је најстарији облика криптографије.

Основна карактеристика симетричних алгоитама је коришћење истог (јединственог) кључа за шифровање и дешифровање. То значи, да и пошиљалац и прималац поруке поседују идентичан кључ који међусобно размењују посебно безбедним каналом. Сигурност система зависи од квалитета алгорита за трансформацију, дужине и начина генерисања кључа и од тајности кључа. Због тога се ови криптографски системи зову и системи са тајним кључевима.

Особа А има за циљ слање поруке М особи В преко незаштићеног комуникационог канала. Особа А најпре генерише поруку М (изворни текст) која се упућује у блок за шифровање Е. У овом блоку се врши шифровање поруке М уз коришћење кључа К добијеног уз помоћ генератора кључа. На тај начин се креира шифрована порука С. Потом се тако добијена порука комуникационим каналом шаље до особе В. Поступак дешифровања се обавља инверзним поступком од шифровања у блоку за дешифровање. Дешифровање поруке С се врши помоћу истог кључа К који је коришћен приликом шифровања. Након дешифровања се добија изворна порука М. Уколико на каналу за пренос постоји особа Н (нападач) која може да пресретне шифровану поруку и уколико дође у посед кључа може прочитати или злоупотребити изворну поруку. (Слика 1).



Слика 1. Блок-схема симетричног криптографског система

#### 3.4. Асиметрични криптографски алгоритми

Главни проблем криптографије одувек је био дистрибуција кључева, уколико непријатељ открије кључ и најбољи алгоритми били су бескорисни, због тога научници развили нову идеју која се заснивала на два кључа, тајном и јавном кључу.

Основна разлика у односу на симетричне алгоритме који користе исти кључ за шифровање и дешифровање јесте да се код асиметричних алгоритама користе различити кључеви за шифровање и дешифровање. Шифровање се врши јавним кључем који је доступан свима, док се дешифровање врши

тајним кључем који поседује само одговарајућа особа. Јавни и тајни кључ су повезани једносмерном функцијом која омогућава да посредством приватног кључа добије јавни кључ, док обрнута веза није могућа.

### 3.5. Хибридни криптосистеми

Принцип рада хибридних криптосистема: Прво се врши шифровање изворног текста употребом кључа (понекад назван и session кључ), а затим се тај кључ заједно са шифрваном поруком пакује и поново врши шифровање са јавним кључем особе којој се шаље порука. Поступак дешифровања целе поруке се остварује обрнутим редоследом операција: Особа која је примила поруку прво дешифрује исту са својим тајним кључем, проналази запаковани session кључ и користи га да би прочитала изворну поруку.

### 3.6. Дигитални потпис

Дигитални потписи се користе за идентификацију извора информације који може бити нека особа, организација или рачунар. Идеја дигиталног потписа је слична класичном потписивању докумената. Уколико се неки документ жели послати електронским путем, такође се мора потписати. За разлику од класичног потписа, дигитални потпис је готово немогуће фалсификовати.

Потписивањем докумената особа која их шаље гарантује аутентичност, интегритет и немогућност порицања особи која их прима.

Аутентичност многих законских, финансијских и других докумената одређује се присуством или одсуством овлашћеног писаног потписа. За компјутеризоване системе поруке које могу заменити физички транспорт докумената писаних на папиру, мора се наћи метода која омогућава електронским документима да се потпишу на адекватан начин. Дигитални потпис је криптографска техника за постизање ових циљева у дигиталном свету [4].

Области у којима се дигитални потписи највише користе су електронска трговина, електронска пошта и разне финансијске трансакције, мада се ова техника може наћи и у другим областима у циљу решавања многих проблема који се односе на безбедност информација.

## 4. СЕРТИФИКАЦИОНА ТЕЛА

Регистрована сертификациона тела, до данашњег дана, за издавање квалификованих електронских сертификата у Републици Србији су:

- Јавно предузеће ПТТ саобраћаја „Србија” РЈ за електронско пословање - СЕРР
- Привредна комора Србије - PKS CA
- МУП РС - Сертификационо тело МУП РС
- Привредно друштво Halcom а.д. Београд – HALCOM BG CA
- „E- Smart Systems“ d.o.o

Сертификационо тело Поште Јавно предузеће ПТТ саобраћаја „Србија” изградило је PKI систем под именом Сертификационо тело Поште, према решењу компаније Entrust. Сертификационо тело Поште користи у својој инфраструктури за издавање квалификованих електронских сертификата хијерархију више

СА сервера. Инфраструктуру Сертификационог тела Поште чине два сертификациона тела [5]:

- „Posta CA Root” сервер, као Root сертификационо тело
- „Posta CA 1” сервер, као подређено сертификационо тело.

Корисници Сертификационог тела Поште могу да буду:

- физичка лица – индивидуални корисници,
- правна лица / државни органи / организације.

## 5. ЕЛЕКТРОНСКИ СЕРТИФИКАТИ

Електронски сертификати омогућавају потврду идентитета учесника у електронској комуникацији. Они повезују податке о идентитету учесника у комуникацији са паром асиметричних кључева који се користе за шифровање и потписивање дигиталне информације чиме потврђује нечије право на коришћење пара криптографских кључева. Дакле, потврђује се да одређени јавни кључ припада одређеном крајњем ентитету (крајњем кориснику, али и корисничком серверу). На тај начин се спречава злоупотреба кључева и да се неко неовлашћено представља туђим идентитетом.

Електронски сертификат садржи податке о власнику, јавни кључ власника, период важења сертификата, име издавача (сертификационо тело које је издало сертификат), серијски број сертификата, дигитални потпис издавача.

### 5.1. Оперативни захтеви у процесу издавања сертификата

Захтев за издавање сертификата може да поднесе физичко или правно лице које испуњава одређене услове.

За издавање сертификата потребно је обавити идентификације и потврђивања аутентичности. Сертификационо тело Поште идентификује корисника на основу докумената за идентификацију које корисник подноси (важећа лична карта, пасош). Корисник мора лично да поднесе целокупну документацију.

Сертификационо тело Поште корисника обавештава о издавању сертификата коришћењем контакт података које је он навео приликом регистрације.

Корисник квалификовани сертификат преузима лично на изабраној локацији на територији Републике Србије. Првом употребом квалификованог сертификата од стране корисника, сертификат се сматра прихваћеним.

Обнова квалификованог сертификата, замена јавног кључа у квалификованом сертификату и промена података у квалификованом сертификату се не врше. Цео процес се извршава издавањем новог квалификованог сертификата [6].

## 6. ЕЛЕКТРОНСКИ ВРЕМЕНСКИ ЖИГ

Сертификационо тело Поште је изградило систем за издавање временских жигова и постало је издавалац временских жигова (Time-Stamping Authority - TSA) у Републици Србији, у складу са Законом о електронском документу и Правилником о издавању временског жига. Временски жигови Поште намењени су

свим учесницима електронског пословања у Републици Србији, и физичким и правним лицима (државна управа, локална самоуправа, јавне службе, предузећа, банке, осигуравајућа друштва, организације, институције,...) [7].

TSA тело Поште осигурава да временски жиг буде издат на сигуран начин и да садржи тачно време. TSA тело Поште издаје само једну врсту временског жига, у складу са Политиком. Сваки жиг садржи идентификациони број Политике издавања временског жига (OID) и јединствени серијски број издатог жига [8].

Временски жиг је електронски потписан тајним (приватним) кључем TSA сервера. TSA тело Поште за формирање електронског потписа временског жига користи RSA алгоритам применом стандарда PKCS#1, уз дужину RSA кључа од 2048 бита. Жиг садржи TSA електронски сертификат којим се проверава електронски потпис временског жига.

Временски жиг садржи UTC време упоредиво са UTC тачним временом, уз максимално дозвољено одступање у односу на UTC тачно време од  $\pm 1$  секунди. Очекивано време важења временског жига одређено је роком важења TSA електронског сертификата, којим се проверава електронски потпис временског жига.

## 7. ПОВЕРЕЊЕ У ЕЛЕКТРОНСКЕ СЕРТИФИКАТЕ

За израду мастер рада спроведена је анкета о поверењу грађана у електронске сертификате. Резултати добијени анкетањем анонимних испитаника дефинишу постојеће стање о корисницима електронских сертификата и могу да скрену пажњу на одређене проблеме при коришћењу.

Већина учесника у анкети не користи електронске сертификате, а као главни разлог томе наводе недовољну едукованост, затим злоупотребу података док је мањи део испитаника навео страх од преваре.

Ако се погледа сам циљ постојања електронског потписа, а то је олакшано потписивање докумената на даљину уз пар клика на рачунару или паметном телефону, онда свакако процедура прибављања електронског потписа пред државним органима у Србији је установљена супротно том циљу јер захтева присуство подносиоца захтева.

Већина испитаника није имала проблема при коришћењу електронских сертификата, док они који су имали, навели су да су то мањи технички проблеми које успевају да реше помоћу упутства, реинсталацијом или помоћу техничке помоћи издавача електронског сертификата. Неки наводе да сваког месеца имају проблем са е-Управом као и да тај проблем самостално решавају.

Као предлог за унапређење услуге издавања и коришћења електронског сертификата корисници сертификата који су учествовали у анкети предложили су да се уведе електронски сертификат у што више сфера и да то не буде опционо, већ да се заиста користи како би смањили коришћење папирне форме, самим тим архивирање исте из еколошких разлога, да буду што једноставнији и бржи и да се ради на едукацији становништва као потенцијалним корисницима електронског сертификата.

## 8. ЗАКЉУЧАК

Електронском разменом информација појавила се потреба за заштитом поверљивих података од разних крађа и злоупотреба, што је условило појаву новог правца у области безбедности података.

Криптографија је веома динамична наука коју одликује уска повезаност између теорије и праксе. Представља веома широку област и у пракси се базира на употреби криптосистема који се састоје од алгоритама за криптовање, једног или више кључева, система за управљање кључевима, података у виду стандардног и криптованог текста. За реализацију криптографских алгоритама који су данас у употреби, користе се сложени математички изрази као и знања из електронике и програмирања.

Свака озбиљнија апликацију има имплементиран неки сигурносни алгоритам, почев од банкарских апликација, интернет трговине, па све до оперативних система.

Циљ овог рада је да укаже на нужност заштите података, упознавањем и применом електронских сертификата и електронског временског жига. Популаризација електронског пословања је сложен процес који захтева пре свега едукацију грађана са циљем да се привуку нови корисници.

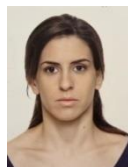
Електронско пословање се стално развија, упоредо са њим развијају се и методе за превару и крађу података што захтева унапређење заштите података и идентитета корисника дигиталне комуникације.

За квалитетну и сигурну мрежу потребно поседовати информатичку инфраструктуру високог квалитета, знања стручњака из различитих области и вршити константна улагања и унапређења система. Пошта је једно од регистрованих сертификованих тела која све то поседује и у које корисници имају поверење.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Kurose, Ross K., Computer Networking, Chapter 8. Security in Computer Networks, 671-691, 6ed, Pearson Education, USA, 2013
- [2] J. Kurose, Ross K., Computer Networking, Chapter 8. Security in Computer Networks, 671-691, 6ed, Pearson Education, USA, 2013
- [3] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kriptografija#Povijest>
- [4] Kovačević Vladimir, Zaštita podataka primenom kriptografskih metoda, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, 2014.
- [5] Prakticna pravila Posta CA CPS QC v1.1-pdf
- [6] Politika sertifikacije Posta CA CP QC v1.1-pdf
- [7] <https://www.ca.posta.rs/vremenskizigovi.htm>
- [8] Politika izdavanja vremenskog ziga Posta TSA 2015

### Кратка биографија:



**Ружица Петровић** рођена је у Ужицу 1992. године. Мастер рад на Факултету техничких наука, из области поштанског саобраћаја и телекомуникација, одбранила је 2021. године.





kako da izvrši zadatu naredbu. Softver čine svi programi i podaci koji se nalaze na kompjuteru, uključujući i operativni sistem. S druge strane, hardver predstavlja pametne, odnosno inteligentne uređaje kao što su: oprema, instrumenti ili mašine koje poseduju računarske sposobnosti. Njihove glavne karakteristike su: napajanje, memorija, procesor i komunikacija.

### 3. MOGUĆNOSTI PRIMENE TEHNOLOGIJE INTERNET OF THINGS

Primena tehnologije IoT je sve češća, a neki od primera gde se koristi su: pametne kuće, učionica, industrija, saobraćaj, logistika, marketing.

Pametna kuća se prilagođava aktivnostima stanara, kao i njihovom raspoloženju, navikama i životnom stilu, a to je izvodljivo zahvaljujući aplikacijama koje koristi Internet kao prenosni medijum nekog uređaja.

Glavni zadatak pametne kuće jeste da se stanarima obezbedi kontrola, kao i sigurnost životnog prostora gde god da se nalaze. Zahvaljujući senzorima koji su postavljeni po kućnom prostoru, i koji prikupljaju podatke, moguće je kontrolisati osvetljenje, multimedijalne uređaje, klimatizaciju, grejanje, video nadzor, alarmni sistem, kao i mnoge druge objekte. Inteligentni uređaji u pametnoj kući komuniciraju putem različitih protokola.

Pametne učionice se mogu definisati kao inteligentno okruženje, opremljeno hardverskim i softverskim elementima, kao što su: senzori, kamere, uređaji za prepoznavanje lica i govora, pametne table. Takođe, neophodno je da postoji i mrežana infrastruktura i računarska oprema.

Ideja o automatizaciji proizvodnje prvi put se pojavila u okviru koncepta masovne proizvodnje s ciljem da se poveća proizvodnja, a sa druge strane smanje troškovi. Tehnologija IoT u automatizaciji pruža mogućnost primene novih rešenja, jer donosi bolji kvalitet i veću fleksibilnost, što se postiže primenom različitih merenja, implementacijom inteligentnog upravljanja i obezbeđivanjem komunikacije mašina. Proizvodnja se integriše sa stvarnom proizvodnjom i simulacionim modelima kako bi se realizovala ključna komponenta pametne industrije, a to su pametne fabrike.

Gužve u saobraćaju su svakodnevna pojava, a rešenja se uglavnom pronalaze kroz projekte zasnovane na upotrebi računarskih sistem i simulacijama različitih saobraćajnih slučajeva, preciznije u objedinjavanju informatičkih i saobraćajnih infrastruktura.

Primenom IoT rešenja u regulisanju saobraćaja, znatno bi se uticalo na sniženje troškova, povećanje zadovoljstva putnika, smanjen broj saobraćajnih nezgoda, kraće vreme putovanja, kao i smanjenje zagađenja životne sredine.

Povezivanjem pametnih mašina putem Interneta, ostvaruje se isporuka digitalnih sadržaja, pametno plaćanje, upravljanje zalihama, realizuju se uštede u potrošnji električne energije i mnoge druge pogodnosti, sve u cilju postizanja profitabilnosti trgovinskih preduzeća i unapređenja korisničkog iskustva.

Ova rešenja imaju veliki potencijal, jer će iz korena izmeniti svakodnevni život čoveka, s obzirom na to da će IoT aplikacije biti sposobne da prepoznaju potrebe potrošača, prilagode ponude potrebama korisnika, i samim tim postignu veću interakciju.

### 4. POŠTANSKI SAOBRAĆAJ KAO POTENCIJALNA OBLAST ZA PRIMENU SAVREMENIH TEHNOLOGIJA

Još od davnina bila je prisutna potreba za prenosom poruka, informacija i robe. Kako bi ljudi zadovoljili svoju potrebu, morali su organizovati niz načina za prenos poruka. Prema istorijskim izvorima, smatra se da se prvi oblici poštanskih službi javljaju u Egiptu pre nove ere, za vreme drevnih faraona.

Vremenom su se javile sve veće potrebe za redovnim poštanskim vezama, a država je ugovorom ustupila pravo na eksploataciju poštanskog saobraćaja privatnim licima. Oduvek je postojala želja i težilo se raspolaganju statusom pošiljke u realnom vremenu. Međutim, u prošlosti to nije bilo izvodljivo i činilo se nemogućim, sada su se okolnosti drastično promenile, a ovu potrebu korisnika konačno je lako realizovati.

Tehnologije i tehnološki sistemi nisu ograničeni samo na materijalnu proizvodnju, već se javljaju i kod uslužnih delatnosti među koje spada i poštanski saobraćaj. Jedinstven tehnološki proces koji obuhvata sve međusobno zavisne faze čini potpun proizvodni ciklus koji počinje prijemom pošiljke, a završava se njenim uručenjem. Razlikuje se pet proizvodnih faza u proizvodnom ciklusu prenosa pošiljaka, a to su:

- prijem,
- otprema,
- transport,
- prispeće i
- uručenje;

Poštanski saobraćaj ima zadatak da vrši organizovan i stalni prenos poštanskih pošiljaka, tačnije njihovo prostorno premeštanje kako u unutrašnjem, tako i u međunarodnom saobraćaju. Proizvodni ciklus ili tehnološki proces premeštanja poštanskih pošiljaka, ostvaruju se kombinacijom radnih postupaka ili operacija, upotrebom određenih sredstava rada, odnosno korišćenjem sopstvenih ili tuđih transportnih sredstava. Usluga koju zahteva pošiljalac završena je onda kada je pošiljka uručena primaocu. Pod prijemom poštanskih pošiljaka podrazumeva se neposredna ili posredna predaja poštanske pošiljke od strane pošiljaoca. Prijem poštanskih pošiljaka organizuje se posredstvom jedinica poštanske mreže za pružanje poštanskih usluga korisnicima, poštunoše šireg i najšireg dostavnog područja, poštanskih kovčežića kao i neposredno od velikih korisnika.

Otprema poštanskih pošiljaka podrazumeva pripremu primljenih poštanskih pošiljaka u jedinicama poštanske mreže za prevoz u pravcu odredišta, prema propisanim kartovnim vezama i u sačinjenim propisanim zaključcima. Transport, odnosno prevoz poštanskih pošiljaka je faza koja obuhvata proces rada od otpreme do prispeća. Često se ističe da je ova faza najvažnija u tehnološkom procesu, jer od nje zavisi brzina prenosa pošiljaka u unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju.

Prispeće poštanskih pošiljaka podrazumeva preuzimanje i otvaranje zaključaka od strane poštanskog centra ili pošta u cilju otpreme i uručjenja pošiljaka.

Uručenje poštanskih pošiljaka u proizvodnom ciklusu prenosa pošiljaka predstavlja završnu fazu jedinstvenog tehnološkog procesa. Pod uručenjem se podrazumeva dostava i isporuka poštanskih pošiljaka primaocima [3]. Na osnovu temeljnih analiza pri istraživanju proizvodnih faza u poštanskom saobraćaju, došlo se do zaključka da sve prethodno navedene faze ostavljaju dovoljno prostora za modernizaciju i primenu savremenih tehnologija.

## **5. PRIMENA TEHNOLOGIJE IOT U POŠTANSKOM SAOBRAĆAJU U FAZI DOSTAVE**

Primena tehnologije IoT u poštanskom saobraćaju zahtevala bi da se osmisli jedinstvena aplikacija koja bi se pozvala na Big Data, kojoj bi imali pristup sve zapolene poštanske u Pošti Srbije na teritoriji grada Novog Sada, zainteresovani studenti kao i turisti zainteresovani za upotrebu bicikla u sopstvene svrhe.

Prva kategorija bi se odnosila na poštonoše koji bi mogli da obavljaju svoje svakodnevne aktivnosti korišćenjem bicikala koji bi bili dopunjeni pametnim uređajima za zaključavanje pomoću kojih bi njihova sigurnost bila povećana na viši nivo, pored osnovne svrhe, ovi uređaji mogli bi da obezbede i niz drugih prednosti. Samo neka od tih prednosti je i GPS lokacija bicikala. Ova prednost koristila bi u praćenju produktivnosti rada poštonoša, samim tim što bi obezbedila precizan uvid o tome koliko se poštonoše zadržavaju na lokacijama dostave.

Status dostave bio bi uvek moguć u realnom vremenu, zahvaljujući pogodnostima koje pruža GPS. Zainteresovani studenti putem jedinstvene aplikacije, koja bi za njih bila potpuno besplatna, prate stanje reklamnog materijala ili određenih proizvoda koje je potrebno dostaviti, kao i lokacije preuzimanja i uručenja. Uvid u ovaj parametar realizuje se pomoću pametnog uređaja za zaključavanje odnosno otključavanje koji bi se nalazio na biciklu, a koji u sebi poseduje GPS.

Zahvaljujući tome, na pametnim telefonima ili drugim uređajima, prikazali bi se parametri kao što su lokacija bicikla, odnosno mesto gde se tačno nalazi bicikl, koje je očekivano vreme pristizanja od tačke A (adrese preuzimanja) do tačke B (adresa uručenja), realizovano vreme pristizanja, tačan broj pređenih kilometara, kao i količina preuzetih pošiljaka za dostavu. Ovi parametri bi se svakako uzeli u obzir prilikom obračuna zarade studentima za izvršenu uslugu dostave.

Neophodno je da zainteresovani studenti, odnosno korisnici druge kategorije izvrše prijavu putem aplikacije, kako bi se svi potrebni podaci kao što su: ime i prezime studenta, datum rođenja, JMBG, podaci o fakultetu koji student pohađa, evidentirali u bazu podataka. Po završetku prijave, studenti bi imali jasan uvid o raspoloživim pošiljkama za dostavu, kao i mogućnost da putem aplikacije vide status slobodnih bicikala, ali i da rezervišu bicikl. Rezervacija bicikala važila bi određeni vremenski period, po isteku rezervacije ukoliko student ne stigne na vreme ili odustane od dostave, aplikacija bi signalizirala da bicikl ima status raspoloživ za dostavu.

Korisnici druge kategorije imali bi uvid o stanju direktne pošte koja je raspoloživa za dostavu, kao i o lokacijama za preuzimanje iste. Treća kategorija donosila bi prihode Pošti Srbije, tako što bi se usluga korišćenja bicikala u turističke svrhe naplaćivala srazmerno vremenu korišće-

nja. Jedna od bitnijih prednosti koju bi pužila primena pametnih bicikala u turističke svrhe jeste smanjenje štetnih izduvnih gasova koje prouzrokuju motorna vozila sa unutrašnjim sagorevanjem.

Porastom broja ovih vozila, raste i stepen zagađenja životne sredine. U vreme vršnog časa saobraćajne gužve su pojačanog inteziteta i ono što je sigurno jeste da bi se do željnog mesta brže stizalo uz pomoć pametnog bicikla, a vremnom i njegovom češćom upotrebom poboljšao bi se i kvalitet vazduha u gradu, koji je nažalost sve više zagađen.

## **6. PAMETNI UREĐAJI ZA ZAKLJUČAVANJE I OTKLJUČAVANJE BIKIKLA**

Pametna brava je u osnovi jedina s kojom mogu komunicirati pametni telefoni putem aplikacije. Dakle, normalna brava za bicikl sa alarmom nije pametna brava, već da bi brava bila „pametna“ mora se povezati sa pametnim uređajem, na primer telefonom. Nakon detaljnog istraživanja, izdvojeni su neki od pametnih uređaja za zaključavanje i otključavanje koji su dostupni na tržištu i čije karakteristike ispunjavaju kriterijume za primenu, a to su: WXG, OMNI, BL10 i LINKA uređaji.

WXG pametni uređaj za otključavanje pomoću otiska prsta izrađen je od cinka, radi na temperaturi od -20 C do +70 C i može da zabeleži 10 različitih otisaka prstiju. OMNI uređaj funkcioniše tako što sinhronizovano prima satelitski GPS signal i Wi-Fi signal, čime je realizovana brža i tačnija pretraga i lociranje. Bluetooth/GPRS ima ulogu skeniranja QR koda koji omogućava otključavanja, i automatsko plaćanje putem aplikacije. BL10 GPS pametni uređaj za bicikl otključava se pomoću aplikacije koju je potrebno prethodno instalirati na pametnom telefonu i prikazuje lokaciju bicikla u stvarnom vremenu.

U kombinaciji, hardver i softver daju besprekorno potpuno rešenje za deljenje bicikla, kojim se ostvaruje interakcija između operatera, korisnika i bicikla. Korisniku je dostupno pronalaženje i rezervisanje bicikla upotrebom mobilne aplikacije. Linka vodooporni, pametni uređaj funkcioniše primenom Linka aplikacije, koju je takođe potrebno instalirati na pametnom uređaju i otključava se pomoću iste za manje od pet sekundi vremena. Ugrađeni senzori imaju sposobnost da otkriju neželjeno kretanje bicikla, a u tom slučaju aktivira se Linka sirena od 110 dB, skrećući pažnju na potencijalnu krađu.

## **7. APLIKACIJA**

Aplikacija ima zadatak da prikaže status bicikala i da na osnovu osmišljenog algoritma, srazmerno obimu pošiljaka koje poštonoše odnosno korisnici prve kategorije treba da dostave, odluči koliko bicikala bi moglo da bude na raspolaganju drugoj i trećoj kategoriji. Aplikacija na osnovu prikupljenih podataka korisnicima druge kategorije prikazuje pošiljke odnosno reklamni materijala raspoloživ za dostavu, kao i lokacije bicikala.

Uvid u ovu lokaciju imali bi i korisnici treće kategorije. Osmišljena aplikacija iskazuje i neke druge podatke, kao što su pređeni kilometri, zabeležene rute, pošiljke raspoložive za dostavu (za drugu kategoriju), ali i mnoge druge statističke prikaze.

## 8. ZAKLJUČAK

Tradicionalni način vršenja usluga u poštanskom saobraćaju sigurno ostavlja utisak sigurnosti. Međutim, vrlo često nove tehnologije pružaju mogućnost primene u svim oblastima života pa tako i u poštanskom saobraćaju, samo je potrebno malo bolje sagledati okruženje i pronaći nit koja će povezati tradicionalno i modernizovano vršenje ovih usluga.

Primena tehnologije IoT u prvoj kategoriji uticala bi na povećanje produktivnosti zaposlenih poštoša, i uz pomoć aplikacije osmišljene u ove svrhe dala detaljan prikaz svih neophodnih statističkih prikaza koji su od ključnog značaja za poboljšanje i modernizaciju poštanskih usluga u fazi dostave.

Primena ove tehnologije u drugoj kategoriji, obezbedila bi studentima Poštanskog saobraćaja jednim delom i dualno obrazovanje, ali i mogućnost da za svoj izvršen rad ostvare zaradu. Treća kategorija donosila bi prihode Pošti Srbije, jer bi se usluga korišćenja pametnih bicikala naplaćivala turistima, odnosno građanima srazmerno vremenu korišćenja.

U mnogim gradovima Evrope već postoje bicikli opremljeni pametnim uređajima koji se koriste u turističke svrhe, ovaj vid prevoza vrlo je pristupačan i jednostavan za korišćenje. Možda trenutno nije jednostavno zamisliti primenu ovog koncepta u poštanskom saobraćaju, jer Pošta Srbije godinama neguje tradicionalni način vršenja usluga. Internet of Things zaslužuje da upotpuni mrežu poštanskog saobraćaja i da pruži širok spektar svojih mogućnosti i učini ovu granu saobraćaja efikasnijom i konkurentnijom.

## 9. LITERATURA

- [1] Nataša Plavša, Nataša Čačić, Jovana Pupovac: Implementation of modern technologies in traffic and their contribution to the protection of the environment, Symorg, 2018.
- [2] Saša Radovanović: Realizacija aplikativnog spreznog sloja poslužioca za Internet of things ekosisteme, FTN, Novi Sad 2014.
- [3] prof. Dr Momčilo Kujačić: Poštanske usluge i mreže, FTN, Novi Sad 2010.

### Kratka biografija



**Jovana Pupovac** rođena je u Beogradu 21.01.1996. godine. Ekonomsku školu "Vuk Karadžić", smer Birotehničar završila je u Staroj Pazovi 2014. godine, a iste godine upisuje Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Poštanski saobraćaj i telekomunikacije. U septembru 2018. godine stiče zvanje diplomiranog inženjera saobraćaja. Master rad na temu *Primena tehnologije Internet of Things u poštanskom saobraćaju* odbranila je 2021. godine.



**ANALIZA I UNAPREĐENJE PROCESA URUČENJA POŠILJAKA****ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE SHIPMENT DELIVERY PROCESS**Nataša Maksimović, Dragana Šarac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – POŠTANSKI SAOBRAĆAJ I  
TELEKOMUNIKACIJE**

**Kratak sadržaj** – Suština rada odnosi se na metodologiju unapređenja procesa dostave, sa ciljem da se ukaže na značaj i prednost inovativnih rješenja.

**Ključne reči:** Pošta, dostava, optimizacija, inovacije

**Abstract** – The essence of the paper refers to the methodology of improving the delivery process, with the aim of pointing out the importance and advantage of innovative solutions.

**Keywords:** Mail, delivery, optimization, innovation

**1. UVOD**

Dostava i transport pošiljaka bili su izloženi značajnoj paradigmi promjene tokom posljednjih decenija, uzrokovane urbanizacijom i razvojem grada. Stopa povećanja popularnosti e-trgovine je očigledna na ulicama, gdje se broj transportnih sredstava povećava. Broj neuspjelih pokušaja dostave pošiljaka postaje sve veći zbog loše organizacije reona i dostave pošiljaka u jutarnjim satima kada većina stanovništva radi.

Cilj ovog istraživanja jeste da predloži inovativnu metodologiju za unapređenje procesa dostave. Uvod u sam rad predstavlja poglavlje koje se odnosi na optimizaciju procesa uručjenja pošiljaka na osnovu čega se dolazi do najboljeg inovativnog rješenja. U okviru strateške prognoze izvršena je SWOT analiza na osnovu koje je definisana strategija za unapređenje procesa dostave.

**2. OPTIMIZACIJA PROCESA URUČENJA**

Optimizacija procesa rada je veoma bitan segment u poslovanju svakog velikog sistema, pa tako i poštanskog. U ovom radu akcenat će biti na modelima koji će dovesti do poboljšanja funkcionalnih i eksploatacionih karakteristika za dostavu i isporuku pošiljaka.

Mnogi poštanski operatori omogućavaju uručjenje pošiljaka putem tzv. *“Pack station”* putem kojih se pošiljke mogu preuzeti 24 sata dnevno, 7 dana u sedmici. Jedan od primjera unapređenja efikasnosti dostave je primjer *Swiss Post* koja je za potrebe industrijskih korisnika kao što su farmaceutska, i druge industrije uvela tzv. *“Innight service”* kojim je ovim korisnicima omogućena dostava pošiljaka u toku noći [2].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Dragana Šarac, red.prof.

Direktnu dostavu do kućnog praga rade *Smart Delivery Box* tzv. pametni poštanski ormarići. *Urbani City depo* zajedno sa svojom kabinom za isprobavanje naručene tekstilne robe korisnicima omogućava preuzimanje paketa u vrijeme kad im najviše odgovara, a istovremeno mogu i slati pakete širom svijeta [2].

Praćenje pošiljaka uz ponudu dodatnih opcija kao što je planiranje uručjenja takođe je jedan od načina unapređenja efikasnosti uručjenja pošiljaka. Uslugom *“My Choise”* korisnicima je data mogućnost izbora gdje i kada će im pošiljka biti uručena. Za korištenje ove usluge korisnik se registruje za proaktivne “tracking” poruke koje se šalju na SMS ili e-mail adresu korisnika [2].

Potreba za poboljšanjem efikasnosti uručjenja uz istovremeno smanjenje marginalne dobiti je rezultiralo identifikovanjem novih tehnologija kao što su teretni bicikli, autonomna vozila i dronovi. *Autonomni roboti* za uručjenje paketa su inovacije u korišćenju teretnih autobusa ili kombija iz kojih mali roboti mogu biti lansirani za izvođenje pojedinačnog uručjenja, tj. jedan artikal po jednom kupcu. Takav koncept uručjenja zahtjeva da primaoc bude kod kuće kako bi otključao teretni robot i primio pošiljku. Primaoci koji nisu kod kuće imaju mogućnost odlaganja robota, tj. uručjenja. Takav koncept sličan je konceptu *uručjenja dronovima*. Oni mogu da lete iznad grada i imaju veću brzinu, dok se autonomni roboti mogu kretati tipičnom brzinom hoda i koristiti staze koji ljudi koriste. Uručjenje dronom može biti izvedena i u slučaju da primalac nije kod kuće tako što pošiljku može istovariti npr. na balkon primaoca [3].

**3. OPTIMIZACIJA DOSTAVNOG PODRUČJA  
POŠTE**

Prema Generalnom planu poštanske mreže (akt kojim se utvrđuju načela i principi organizacije poštanske mreže na području jedne zemlje), organizacija dostave na području jedinice poštanske mreže obavlja se podjelom područja jedinice na odgovarajući broj dostavnih reona. Veličina dostavnih reona zavisi od količine i vrste poštanskih pošiljaka koje treba dostaviti i od vremena koje je potrebno da se sve pošiljke predaju primaocima [1].

Dostavno područje pošte je teritorija na kojoj se organizovano i sistematski vrši dostava svih vrsta poštanskih pošiljaka, a po pravilu se dostavno područje poistovjećuje sa područjem same pošte. Postoji nekoliko podjela dostavnog područja, pri čemu je najbitnija podjela prema:

- Teritoriji
- Teritorijalnoj organizaciji

- Organizaciji dostave
- Tipu gradnje
- Konfiguraciji terena [4].

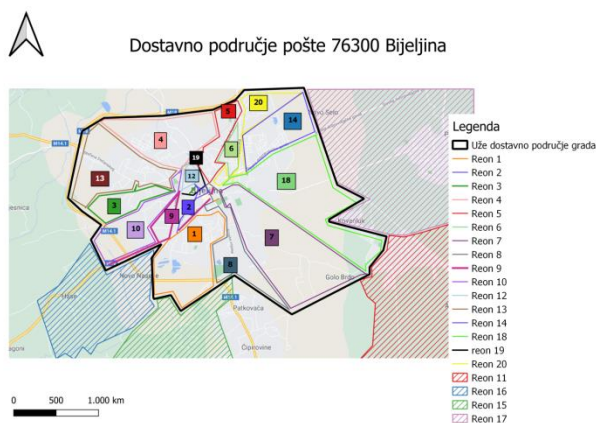
Dostavni reon je deo dostavnog područja pošte, koji poštunoša obide jednim hodom u toku jednog radnog dana, pri čemu vrši dostavu poštanskih pošiljaka lično primaocu na naznačenu kućnu adresu [4].

#### 4. ANALIZA DOSTAVNOG PODRUČJA POŠTE

Na teritoriji grada Bijeljina organizovan je centralizovani sistem dostave, što znači da jedna jedinica poštanske mreže, u ovom slučaju 76300 Bijeljina, vrši dostavu svih vrsta poštanskih pošiljaka. Područje grada podijeljeno je na 20 dostavnih reon (Slika 1) i ima 17 poštunoša. Od 20 dostavnih reona, četiri spadaju u šire dostavno područje:

- ❖ 11 Amajlije
- ❖ 15 Pučile
- ❖ 16 Hase
- ❖ 17 Popovi.

Dostavu na širem području obavlja samo jedan poštunoša svaki drugi dan, dok se dostava na užem području vrši svakim radnim danom od 7.00 do 14.00 časova i subotom od 7.00 do 12.00 časova.



Slika 1. Dostavno područja grada Bijeljina  
Izvor: izradila autorka

Uže dostavno područje poštunoše obilaze pješke, biciklom ili po potrebi kombi vozilom, dok za dostavu pošiljaka na širem području koriste isključivo transportna sredstva pošte.

U razgovorima sa zaposlenima i pregledom literature, analizirano je trenutno stanje procesa dostave pošiljaka i paketa na području grada Bijeljina. Identifikovano je više problema, koji se odnose na lošu organizaciju dostavnih reona, radno vrijeme poštunoša, zastoje, emisije štetnih plinova i gasova, ograničenja u pristupačnosti. Veliki problem kod dostavnog područja pošte Bijeljina je to što dostavni reoni nisu dobro organizovani.

Saobraćaj u gradu je povećan tokom jutarnjih sati kada se stvaraju velike gužve koje ometaju efikasno kretanje vozila. Postoje različite situacije, posebno na užem području grada, gdje je jako teško pronaći parking mjesto, pri čemu se ometa javni prevoz.

#### 4.1. Konkurencija na tržištu

Tokom poslednjih godina tržište kurirskih usluga se dramatično razvilo širom svijeta. U Bijeljini u periodu od 2008. do 2021. godine, otvorene su još tri privatne kurirske službe:

- EuroExpress
- X Express
- A2B brza pošta.

Usluga dostave u Bijeljini je procvjetala i konkurencija na tržištu je sada vrlo intenzivna. U uslovima visoko konkurentnog tržišta kurirskih usluga korisnici imaju izbora da izaberu operatera koji im najviše odgovara.

#### 4.2. Pandemija COVID-19 i njen uticaj na e-trgovinu

Pandemija oboljenja COVID-19 izazvala je u svijetu velike ekonomske posljedice po sve države, pa tako i na Republiku Srpsku. Stotine analiza, studija, politika i naučnih radova svakodnevno se objavljuje na temu uticaja pandemije na ekonomiju, međutim na poštanske i kurirske usluge uticala je na dobar način.

Tokom pandemije, online trgovina je nadmašila sva očekivanja, te je posao Poštama Srpske naglo porastao. Zbog zatvaranja svih trgovina koje ne prodaju prehrambene i higijenske proizvode, došlo je do trenda pada B2B modela, dok je B2C model (dostava fizičkim licima) značajno porastao.

#### 4.3. Strateška prognoza

Analiza okruženja ili okoline podrazumijeva istraživanje svih važnijih karakteristika kako spoljašnjeg tako i unutrašnjeg okruženja sa svrhom identifikacije strateških prognoza koje će odrediti budućnost preduzeća.

Najjednostavnija metoda za analizu okruženja je SWOT koja je dobila takav naziv jer je njena osnovna ideja da omogućiti razvojno ponašanje.

Generalno posmatrano, SWOT analiza se bazira na utvrđivanju snaga (Strengths) i slabosti (Weaknesses) postojećeg stanja procesa dostave, kao i šansi (Opportunities) i pretnji (Threats). Cilj Swot analize je dobijanje jasne i objektivne slike stanja postojećeg procesa dostave pošiljaka na teritoriji grada Bijeljina i stvaranje pouzdanog inputa za projektovanje buduće varijante procesa dostave.

Na osnovu SWOT analize, jasno je da proces dostave ima značajne prednosti i potencijalne i realne teškoće, ali i realne mogućnosti za unapređenje poslovanja. Za ostvarenje budućih rezultata potrebno je pretvoriti postojeće snage u sposobnosti za realizaciju nabrojanih mogućnosti i prilika.

Pošta 76300 Bijeljina ima monopolski položaj i perspektivu za unapređenje svog položaja u procesu dostave. Zbog dugogodišnjeg poslovanja ima veliki broj korisnika koji rado koriste usluge dostave zbog niskih cijena i dobrog kvaliteta. Visoki troškovi i nedostatak investicijskih sredstava stvaraju ozbiljne probleme kada je u pitanju razvoj novih usluga.

#### 4.4. Definisanje strategije za unapređenje procesa dostave

Na osnovu izvršene analize užeg i šireg dostavnog područja i načina dostave predložena je nova organizacija dostave pošiljaka na području grada Bijeljina. Novi način dostave imao bi za cilj smanjenje broja pređenih kilometara u praznom hodu, tj. neproduktivan pređeni put, ali i smanjenje troškova dostave. Po ugledu na druge zemlje, neki od novih načina dostave mogao bi biti:

- ✓ Postavljanje pametnih poštanskih ormarića
- ✓ Otvaranje urbanih depoa.

**Pametni ormarić** koji se još naziva i automatizovani ormarić, ormarić za pakete, pametna poštanska kutija i kutija za dostavu smatra se održivim alternativnim rješenjem za kućnu dostavu. Definisan je kao automatizovana kutija bez osoblja, koja je fiksirana na sloljašni zid na sigurnom mjestu (npr. prizemlje zgrada, stambeni blokovi, radna mjesta, parkirališta ili autobuske stanice). Bili bi jednostavni za upotrebu, pružali potpunu diskreciju i sigurnost dostave korisnicima koji bi pošiljke mogli podići u roku od 72 sata otključavanjem ormarića putem svojih mobilnih telefona. Ova pametna poštanska kutija omogućavala bi bolje usmjeravanje vozila, smanjila troškove dostave i pritisak vozača na pogrešne adrese i smanjio bi se broj neuspjelih dostava [5][6].

Primaoci koji se nalaze u centru grada, poslovno ili privatno, svoje pošiljke mogli bi putem aplikacije preusmjeriti te podići u urbanom depou, a istovremeno, iz depoa bilo bi moguće poslati ih dalje unutar zemlje, Evrope i svijeta. Ono što bi posebno bilo zanimljivo i jedinstveno za ovaj depo je koncept kabine za isprobavanje naručenih tekstilnih artikala koji omogućava fleksibilniji način preuzimanja pošiljaka – primaoci bi mogli probati i obaviti povrat ako artikl nije odgovarajući. Depo bi bio otvoren od ponedjeljka do subote što primaocima nudi maksimalnu praktičnost jer mogu podići svoje pošiljke u vrijeme kada im to najviše odgovara [7].

Pametni poštanski ormarići i urbani depo bili bi postavljeni na užem dostavnom području, na urbanim dijelovima, tačnije gdje je veliki broj žižnih tačaka i gdje cirkuliše veliki broj ljudi. Precizne lokacije istih prikazani su na slici 2.

#### 4.5. Implementacija predložene strategije

Proučavanjem literature i sprovedenom analizom dolazi se do zaključka kako postojeći proces dostave ima mjesta za optimizaciju koja bi dala kvalitetnije rezultate. Zbog stalnog rasta, važno je da se unaprijedi uručenje i osvrne na nove alternative koje će pomoći da se smanje trokovi kako u ekološkom tako i u ekonomskom smislu.

Suprotno od tradicionalnog načina dostave koji je opisam u ovom poglavlju poštunoša bi pošiljku stavio u ormarić uz automatsko zaključavanje. Nakon uspješnog uručjenja do mjesta za preuzimanje, primalac se obavještava SMS-om ili e-mail-om sa kodom da sam preuzme pošiljku.

Pored uručjenja i preuzimanja pošiljaka, pametni poštanski ormarić može se koristiti i kao alat za povratne logistike. Pametni poštanski ormarić opremljen je i uslugom plaćanja, tako da korisnici mogu da šalju svoje pošiljke. Štampač unutar mašine omogućava štampanje računa ili samolepljivih poštarina.

Upotreba poštanskih ormarića čini se prihvatljivom za životnu sredinu jer se ne smanjuju samo emisije šetnih gasova već i gužva i buka u saobraćaju koji se javljaju u tradicionalnom načinu dostave. Instaliranjem ormarića na relativno kratkom rastojanju ključno je za poštunošu jer smanjuje potrošnju goriva.

#### 5. METODOLOGIJA

Sa željom da se što objektivnije, pouzdanije i sistematičnije obradi definisana tema i predmet istraživanja, u radu su korišćene opšte – naučne metode i naučno – istraživačke metode. Primjena pomenutih metoda omogućila je saznanje o pokazateljima koji imaju značajan uticaj na inovativne poromjene i optimizaciju. Pomoću ovih metoda dolazi se do ostvarenja postavljenih ciljeva, što rezultira drastičnim promjenama u oblasti unapređenja uručjenja pošiljaka.

Metodologija predstavlja savremen pristup u projektovanju osnovnih elemenata procesa dostave, koja omogućava kontinualan proces stalnog prilagođavanja sistema promjenljivom okruženju.

U razmatranju pojedinih dijelova rada korišćen je metod analize, dok se u zaključnim dijelovima rada koristio metod sinteze. U radu je sprovedena prostorna analiza poštanske mreže na teritoriji grada Bijeljina, pomoću programa GIS. Prostorna analiza je sprovedena na temelju podataka prikupljenih sa sajta Pošte Srpske.

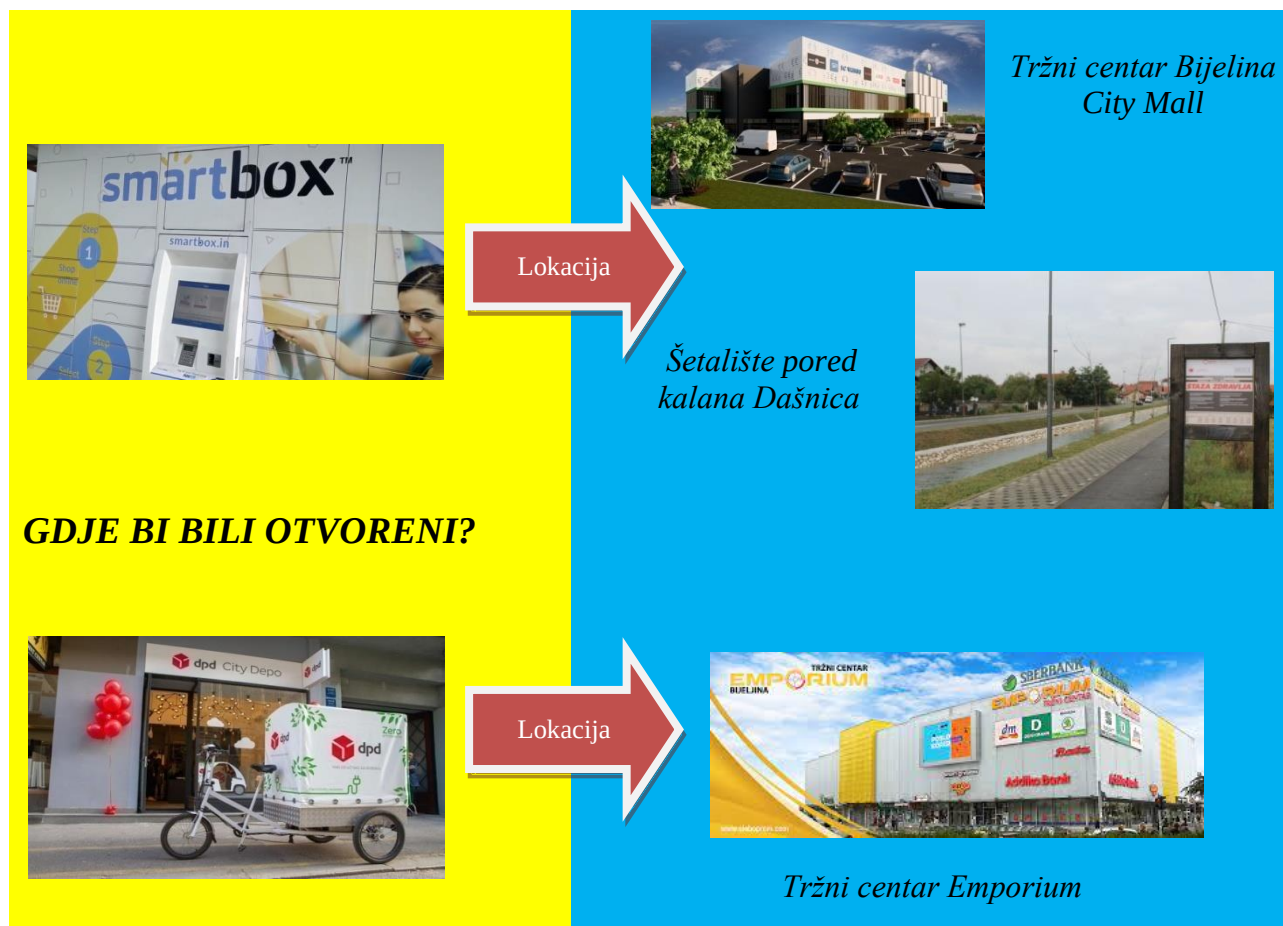
U cilju optimizacije dostavnog područja pošte, urađena je i SWOT analiza postojećeg stanja procesa dostave na podrčju grada Bijeljina. Finalni model dobijen je na temelju dostupnih podataka iz rada.

#### 6. EKSPERIMENTALNA PRIMJENA PREDLOŽENE METODOLOGIJE

Predloženi model je testiran na primjeru poslovanja pošte 76300 Bijeljina i to u segmentu dostave pošiljaka. Pošta 76300 Bijeljina broji 32 radno angažovanih radnika, pokriva područje površine 91km<sup>2</sup>, te u 17.000 domaćinstava poštanskom uslugom opslužuje oko 70.000 stanovnika.

U odnosu na postojeću organizaciju dostave, primjenom predloženog modela poslovni proces izložen je određenim izmjenama. Prilikom kupovine putem Interneta korisnici mogu naznačiti gdje i kada žele preuzeti pošiljke. Do uručjenja mogu pratiti pošiljke i znati u svakom momentu gdje se one nalaze. Kada pošiljke stignu u poštanski centar sa njima se postupa po odredbama za otpremu, odnosno dostavu i isporuku. Svaki poštunoša uzima pošiljke koje pripadaju njegovom reonu i odnose ih na mjesto uručjenja koje je primalac naznačio. Dolaskom na mjesto uručjenja poštunoša stavlja pošiljke u ormarić koji se automatski zaključava, a zatim primalac prima obavještenje SMS-om da može preuzeti pošiljku. Kada korisnik dođe na mjesto uručjenja, da bi preuzeo pošiljku mora skenirati kod koji je dobio u SMS obavještenju.

Primjena predloženog modela kao i optimizacija procesa uručjenja, može znatno doprinijeti smanjenju ukupnih troškova. Optimizacijom procesa dostave pošiljaka može se, gotovo potpuno, eliminisati broj neuspjelih pokušaja uručjenja. Na ovaj način se kod korisnika gradi i



Slika 2. Lokacije pametnih poštanskih ormarića i urbanog depoa  
Izvor: Izradila autorka

unapređuje povjerenje u usluge preduzeća, što će ga zadržati i uticati da ih i naredni put koristi.

## 7. ZAKLJUČAK

Oblast poštanskog saobraćaja u prošlosti smatrala se slabo inovativnom. Inovacije u ovoj oblasti su u današnje vrijeme sve zastupljenije. Globalizacija, jača konkurencija, promjene potreba korisnika, razvoj informacionih tehnologija i slično su faktori koji podstiču inovativnost u poštanskom saobraćaju.

Prilikom optimizacije procesa uručivanja donijeta su dobra pomenuta rješenja kojima je potrebno posvetiti posebnu pažnju i sprovesti mjere poboljšanja, jer će to za posljedicu imati povećano zadovoljstvo zaposlenih, a samim tim i davati mnogo bolje poslovne rezultate.

## 8. LITERATURA

- [1] Kujačić M., Poštanske usluge i mreža, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [2] Lindov O., Sigurnost i zaštita u saobraćaju, transportu i komunikacijama u BiH, Zbornik radova, Udruženje inženjera saobraćaja i komunikacija u Bosni i Hercegovini, Sarajevo, 2014.
- [3] Muharemović E., et al. Cost and Performance Optimisation in the Technological Phase of Parcel Delivery – A Literature Review

[4] Trubint N., Modeli upravljanja poštanskom mrežom, skripta, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad

[5] <https://seenews.com/news/posta-slovenija-sets-up-network-of-450-smart-parcel-boxes-695817>, dana 14.05.2021. godine

[6] <https://www.researchgate.net/publication/343127138> SMART LOCKER - A SUSTAINABLE URBAN LAST-MILE DELIVERY SOLUTION BENEFITS AND CHALLENGES IN IMPLEMENTING IN VIETNAM, 14.05.2021. godine

[7] <https://www.dpd.com/hr/en/2020/11/16/dpd-otvorio-prvi-urbani-city-depo-u-hrvatskoj-2/>, dana 14.05.2021. godine

### Kratka biografija:



**Nataša Maksimović** rođena je 19. juna 1996. godine u Bijeljini gdje je završila osnovnu i srednju školu. Godine 2015 završila je Tehničku školu "Mihajlo Pupin".

Iste godine upisuje osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smjer poštanski saobraćaj i telekomunikacije. Studije završava 2019. godine, a zatim upisuje master akademske studije na istom fakultetu.



**ANALIZA I MERE ZA UNAPREĐENJE ORGANIZACIJE I UPRAVLJANJA  
AUTOTRANSPORTNOG PREDUZEĆA „MS TRANSPORT“ DOO****ANALYSIS AND MEASURES FOR IMPROVING THE ORGANIZATION AND  
MANAGEMENT OF "MS TRANSPORT" DOO COMPANY**Milan Gvoka, Pavle Gladović, *Fakultet tehničkih nauka Novi Sad***Oblast–DRUMSKI SAOBRAĆAJ**

**Kratak sadržaj** –U ovom radu su predstavljeni problemi sa kojima se suočava autotransportno preduzeće “MS TRANSPORT” DOO, kao i rešenja za ove probleme. Takođe su predstavljeni propisi koje prate transport robe u drumskom saobraćaju, licence koje moraju da poseduju kako vozači teretnih motornih vozila tako i samo autotransportno preduzeće.

**Ključne reči:** vreme vožnje, radno vreme, vreme pauze, dozvole.

**Abstract**–In this paper, problems of “MS TRANSPORT” DOO company and the measures for improving the organization and management are presented. Also all the rules and regulations of transports, applied information technology, licences that the drivers and company need to have are presented.

**Key words:** driving time, working hours, break hours, licenses

**1. UVOD**

U teoriji i praksi se često zamenjuje značenje pojmova saobraćaj i transport. To dovodi do nerazumevanja ova dva termina. Pojam transport potiče od latinske reči *transportare* (*trans+portare* – nositi). Transport predstavlja složen proces prevoza, premeštanja ili prenosa objekata transporta primenjenom transportnom tehnologijom u postoru i vremenu, koji kao proizvod ima i transportnu uslugu sa ciljem zadovoljenja transportnih potreba i transportnih zahteva posmatrane grupe korisnika. Saobraćaj je utkan u celokupnu društvenu reprodukciju i javlja se kao bitan element proizvodnje, razmene i potrošnje materijalnih dobara. Uloga i značaj saobraćaja u svakoj zemlji su višestruki i veoma značajni. Saobraćaj je rezultat određenog nivoa razvoja privrede sa jedne strane, a sa druge on sam vrši uticaj na privredni razvoj svake zemlje. Većina autora i teoretičara, u zemljama sa visokim stepenom razvijenosti saobraćaja, smatra da se efikasnost jedne privrede može meriti razvijenošću i efikasnošću sistema transporta. Paralelno sa razvojem sistema telekomunikacija i tehnologije, u saobraćaj i transport sve se više integrišu ITS (Intelligentni Transportni Sistemi). ITS predstavlja široku oblast aplikacija novih tehnologija koje svojom funkcijom olakšavaju kontrolu i upravljanje transportnim sistemom. Osnovu ITS-a čine savremeni informacioni sistem, koji omogućuje dostupnost potrebnih informacija u svakom trenutku.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Pavle Gladović.

Transportni sistem zapravo predstavlja podsistem privrednog sistema jedne zemlje.

**2. DELATNOST PREDUZEĆA**

Bilo da je u pitanju pun utovar ili jedna paleta robe, preduzeće ima mogućnost da ponudi uslugu transporta za bilo koju destinaciju u zemlje zapadne Evrope, po najkonkurentnijim uslovima. U oblasti međunarodnog drumskog transporta usluge su grupisane u dva segmenta: puni i zbirni utovari.

U sklopu preduzeća nalazi se i benzinska stanica “Anđelić International”, počela je sa radom u avgustu 2006. godine. Obuhvata površinu od 700m<sup>2</sup>. U sklopu usluga benzinske stanice, nude benzin, eurodizel i TNG visokog kvaliteta. Takođe, vrše usluge punjenja i prodaje plinskih boca.

Preduzeće se bavi i poljoprivrednom proizvodnjom. U sklopu preduzeća, nalazi se 300 hektara obradive zemlje, na kojima su rasprostranjene 3 setvene kulture: pšenica, kukuruz i soja. Sa najsavremenijom mehanizacijom, satelitskim sistemima preciznosti obrade zemljišta, postignuta je vizija i misija u izuzetnim rezultatima prinosa i kvaliteta robe.

**3. PRIMENJENE INFORMACIONE  
TEHNOLOGIJE U PREDUZEĆU**

Informacione tehnologije su postale neizostavan deo svakodnevnice. Ukoliko se koriste na pravilan način, tehnologija može da unapredi mnoge segmente života i poslovanja. Poslovni svet u velikoj meri zavisi od modernih tekovina.

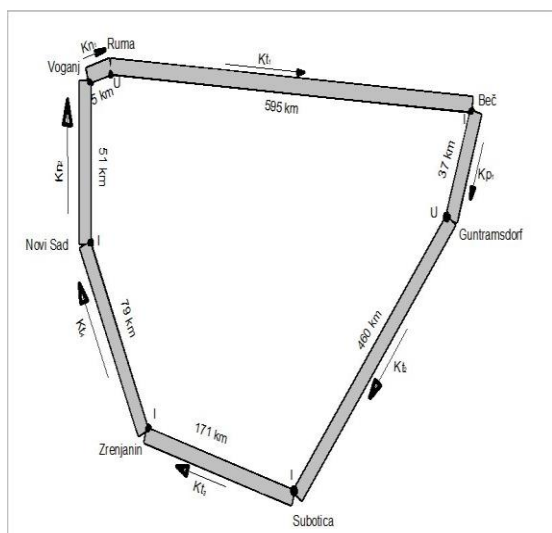
Preduzeće „MS Transport“ prepoznalo je važnost i efikasnost informacionih tehnologija u poslovanju. U ovoj kompaniji trenutno se koriste sledeći softveri:

- TimoCom Truck&Cargo,
- Microsoft AutoRoute,
- Elektronsko Bankarstvo (Komerijalna Banka),
- „Prevoz“ i „MS Transport“- programi specijalno rađeni za potrebe preduzeća „MS Transport“,
- Satelitsko praćenje vozila (FMS Beograd).

**4. BILANS PREDENOG PUTA TERETNOG  
VOZILA U TOKU JEDNOG OBRTA (VOGANJ-  
BEČ-GUNTRAMSDORF-SUBOTICA-ZRENJANIN-  
NOVI SAD-VOGANJ)**

Analiziran je složen prstenast prevozni put. Utovar vozila obeležen je na mestu utovara slovom (u) a istovar (i). U realizaciji transporta učestvovalo je vozilo marke MERCEDES-BENZ Actros 1844.

Posmatrani prstenasti prevozni put, prikazan je na slici 1.



Slika 1. Prevozni put vozila.

Najveći pređeni put je pod teretom, što se ujedno i vidi u tabeli 1.

| Redni br. | Naziv i tip vozila | Kt   | Kp | Kn | K    |
|-----------|--------------------|------|----|----|------|
| 1         | Mercedes           | 1305 | 37 | 56 | 1389 |

Tabela 1. Pređeni put pod teretom, pređeni put bez terera, nultui pređeni put i ukupni pređeni put.

**Koeficijent iskorišćenja pređenog puta  $\beta$ :**

$$\beta = K_t / K = 1305 / 1389 = 0,93$$

**Koeficijent nultog pređenog puta  $\omega$ :**

$$\omega = K_n / K = 56 / 1389 = 0,04$$

**Izmeritelji iskorišćenja korisne nosivosti:**

$Az\lambda$ - broj vožnji sa teretom,

$q_i(t)$ - nosivost vozila,

$q\lambda$ - prosečna prevezena količina tereta u toku jedne vožnje.

U tabeli 2 dati su podaci o broju vožnji sa teretom, nosivosti vozila, prosečnoj prevezenoj količini tereta u toku posmatranog obrta.

| Redni broj | Naziv i tip vozila | $Az\lambda$ | $q_i(t)$ | $q\lambda$ | $Az\lambda^* q\lambda$ | $Az\lambda^* q_i$ |
|------------|--------------------|-------------|----------|------------|------------------------|-------------------|
| 1          | Mercedes           | 4           | 24       | 11         | 44                     | 96                |

Tabela 2. Korisna nosivost vozila.

**Srednja dužina vožnje sa teretom:**

$$Kst\lambda = \frac{K_t}{z_\lambda} = \frac{1305}{4} = 326km$$

**Transportni rad:**

- U-ostvareni obim prevoza,
- Umax-mogući obrt prevoza.

Ostvareni transportni rad dat je u tabeli 3.

| Redni broj | Marka i tip vozila | Kt   | $q_i(t)$ | $q\lambda$ | U      | Umax(t km) |
|------------|--------------------|------|----------|------------|--------|------------|
| 1          | Mercedes           | 1305 | 24       | 11         | 14 355 | 31 320     |

Tabela 3. Ostvareni transportni rad.

## 5. BILANS PREĐENOG PUTA TERETNOG VOZILA U TOKU JEDNOG OBRTA NAKON REORGANIZACIJE TRANSPORTNE TURE

Način na koji ovo može da se ostvari povezan je sa dobrom organizacijom preduzeća u potrazi za adekvatnim

klijentima, odnosno poslodavcima. Gotovo je nemoguće u praksi organizovati ovako idealan prevozni put. Relacija je Voganj – Beč – Guntramsdorf – Subotica – Zrenjanin – Novi Sad - Voganj.

| Redni broj | Naziv i tip vozila | Kt   | Kp | Kn | K    |
|------------|--------------------|------|----|----|------|
| 1          | Mercedes           | 1398 | 0  | 0  | 1398 |

Tabela 4. Pređeni put vozila.

**Koeficijent iskorišćenja pređenog puta  $\beta$ :**

$$\beta = \frac{K_t}{K} = \frac{1398}{1398} = 1$$

**Koeficijent nultog pređenog puta  $\omega$ :**

$$\omega = \frac{K_n}{K} = 0.$$

| Pokazatelji                               | Prvobitni prevozni put | Korigovani prevozni put | Razlika  | %         |
|-------------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| $Z\lambda(\text{broj})$                   | 4                      | 7                       | 3        | 42        |
| $Q(t)$                                    | 44                     | 77                      | 33       | 42        |
| $A_i(\text{broj vozila})$                 | 1                      | 1                       | -        | -         |
| $AD_i, AD_r, AD_s(\text{dani})$           | 6,6,6                  | 6,6,6                   | -        | -         |
| $AH_r(\text{časovi})$                     | 75                     | 75                      | -        | -         |
| $AH_w(\text{časovi})$                     | 22                     | 22                      | -        | -         |
| $AK_t, AK_n, AK_p(\text{km})$             | 1305; 56; 37           | 1398;0;0                | 93;56;37 | 6;100;100 |
| $AK(\text{km})$                           | 1398                   | 1398                    | -        | -         |
| $\beta$                                   | 0,93                   | 1                       | 0,07     | 7         |
| $\omega$                                  | 0,04                   | 0                       | 0,04     | 100       |
| $Ve(\text{km/h})$                         | 19                     | 19                      | -        | -         |
| $Vs(\text{km/h})$                         | 64                     | 64                      | -        | -         |
| $Ksd(\text{km})$                          | 233                    | 233                     | -        | -         |
| $U(t/\text{km})$                          | 14 355                 | 15 378                  | 1023     | 6,65      |
| $Kst1(\text{km})$                         | 326                    | 200                     | 126      | 42        |
| $Az\lambda$                               | 4                      | 7                       | 3        | 42        |
| $Kst\lambda(\text{km})$                   | 326                    | 200                     | 126      | 42        |
| $\gamma$                                  | 0,45                   | 0,45                    | -        | -         |
| $\epsilon$                                | 0,45                   | 0,45                    | -        | -         |
| $W^*Q(t/\text{hr}), W^*U(t/\text{km/hr})$ | 0,58; 191              | 0,92; 205               | 0,34; 14 | 36; 6     |
| $WQ(t/\text{hi}), WU(t/\text{km/hi})$     | 0,30; 98               | 0,53; 106               | 0,23; 8  | 43; 7     |

Tabela 5. Izmeritelji pre korigovanja prevoznog puta i nakon korigovanja

## 6. PREDLOZI MERA ZA UNAPREĐENJE POSLOVANJA ATP „MS TRANSPORT“ DOO IZ VOGNJA

Preduzeće ima tendenciju ka konstantnom rastu, samim tim rastu i potrebe za licenciranim kadrom, kako u oblasti transporta, tako i sektoru održavanja. To naravno dovodi i do podmlađivanja voznog parka. Preduzeće ima veliku potrebu za izgradnjom dodatnog skladišnog prostora, za pružanje usluga trećim licima. Isto tako, preduzeće vidi dobru priliku i u pružanju usluga servisa za teška teretna vozila (otklanjanje fizičko-sofverskih kvarova, vulkanizerske usluge i dr.).

Glavni i ujedno najveći problem preduzeća jeste nedostatak profesionalnih vozača. Firma je od velikog ugleda u sferi transporta, poznata po poštovanju dogovorenih rokova i uslova, gde zbog toga veliki broj komitenata potražuje njihove usluge. Da bi nastavili poslovanje u tom

smeru i poštovali dogovorene klauzule, preduzeću je potreban veći broj profesionalnih vozača. To je ogroman problem, koji je teško rešiv.

Kako bi se povećala konkurentnost, ujedno i prihodi preduzeća koje posluje na slobodnom tržištu, neophodno je uvesti ISO standarde u sistem poslovanja. Ceo sistem ISO standarda bazira se na principima koji omogućavaju preduzeću da uspostavi kvalitetan odnos sa komitentima i da napravi veliki iskorak u pružanju usluga.

Implementacijom ISO standarda, preduzeće postaje preduzeće koja se pravilno razvija, neprestano unapređuje svoje procese. Postaje brže i efikasnije, a sa druge strane brine o svim aspektima zaštite životne sredine i naravno o svojim zaposlenima omogućavajući im bezbednu i zdravu radnu sredinu.

Potrebno je s vremena na vreme i podmlađivanje voznog parka, u cilju unapređenja poslovanja i konkurentnosti. Kako su transportne cene dosta opale u donosu na ranije periode, zbog pojavljivanja velikog broja novih transportnih preduzeća, zarade su dosta smanjene, a samim tim je i otežana nabavka novih vozila.

### 6.1. UVOĐENJE NOVIH ISO STANDARDA

Međunarodno priznati standard ISO 39001 utvrđuje zahteve za sistem upravljanja bezbednošću drumskog saobraćaja (BDS), sa ciljem da omogući delovanje organizacije u sistemu drumskog saobraćaja u smislu smanjenja poginulih i teško povređenih u nezgodama na koje organizacija može da utiče.

Standard ISO 39001 pomaže firmama i organizacijama da:

- doprinesu nacionalnim i globalnim naporima za prevenciju smrtnih slučajeva i teških telesnih povreda prouzrokovanih saobraćajnim nezgodama,
- prikažu sebe kao kolektiv koji izuzetno vodi računa o bezbednosti svojih zaposlenih, svojih klijenata i saradnika, ali i svih građana iz zajednice kojoj pripadaju,
- smanje troškove nastale usled saobraćajnih nezgoda, izbegnu organizacione komplikacije u poslovanju nastale usled tih nezgoda i smanje broj izostanaka zaposlenih sa radnog mesta,
- efikasno iskoriste svoje postojeće resurse za doprinos bezbednosti u drumskom saobraćaju.

Iz tog razloga, ustanovljen je ISO 22301 sistem menadžmenta kontinuitetom poslovanja, koji služi najpre da se smanji rizik od dolaska u neželjene i nepredviđene situacije, a potom i da smanji negativan uticaj po kompaniju nastao usled takvih okolnosti. Drugim rečima, sistem ISO 22301 omogućava organizacijama da lakše prebrode iznenadni krizni period, odnosno da kroz njega prođu sa minimalnim ili nikakvim poslovnim gubicima.

Prednosti uvođenja i sertifikacije sistema ISO 22301 su:

- identifikacija i upravljanje trenutnim i budućim poslovnim pretnjama po organizaciju,
- zauzimanje proaktivnog pristupa za smanjivanje uticaja usled nastalih incidenata,
- omogućavanje bitnim funkcijama da budu operativne tokom krize,
- smanjenje zastoja tokom incidenata i smanjenje vremena potrebnog za oporavak preduzeća,

- kreiranje javnog imidža o spremnoj organizaciji koja se na efikasan način suočava sa pretnjama iz svog okruženja.

Standard ISO 31000 preporučuje upravo da organizacija razvija, primenjuje i konstantno unapređuje okvir čija je svrha integracija procesa upravljanja rizicima u čitavoj organizaciji, tj. u procesima upravljanja, definisanja strategije i planiranja, procesima izveštavanja, politici, vrednostima kompanije i korporativnoj kulturi.

ISO 31000 donosi brojne prednosti organizacijama:

- aktivno poboljšanje operativne efikasnosti i upravljanja,
- primenu sistema upravljanja kontrolama na analizi rizika kako bi se minimizirali gubici,
- odgovor na efikasnost promena i zaštitu Vašeg poslovanja prilikom rasta,
- efikasniju raspodelu i upotrebu resursa,
- poboljšano upravljanje incidentima i smanjenje gubitaka i troškova rizika,
- povećano poverenje zainteresovanih strana,
- bolje ispunjavanje važećih propisa,
- bolje korporativno poslovanje,
- bolje upravljanje rizicima.

### 6.2. PRAĆENJE IZMERITELJA RADA VOZILA PREKO GPS-A

Mobilne komunikacije, satelitski sistemi, GPS sistemi navigacija, sve su to tehnologije koje omogućavaju efikasno upravljanje transportom u okvirima prevoznih kompanija. Pored same činjenice da preduzeće koristi savremene softvere u transportnom procesu, potrebno je i da neko stalno prati izmeritelje rada, kako bi se i sami mogli poboljšati. Taj neko mora da bude kvalifikovan i spreman da brzo i adekvatno odgovori zahtevima sve kompleksnijeg tržišta.

Poboljšanje izmeritelja rada voznog parka dovodi do toga da preduzeće posluje što efikasnije, a samim tim se smanjuje koštanje celokupnog transporta. Moduli bogati raznim opcijama, softveri sa mogućnošću prilagođavanja i izveštaji bogati važnim informacijama su karakteristike koje se lako mogu prilagoditi potrebama voznog parka i dati trenutnu informaciju potrebnu za donošenja ključnih odluka.

Bitne informacije o lokaciji i stanju vozila bi trebalo da budu dostupne 24/7. Savremena GPS tehnologija, pored funkcije satelitskog praćenja i navigacije vozila, nudi i brojne druge opcije i informacije: dužina puta, potrošeno gorivo, brzina kretanja, dinamičko rutiranje itd.

Praćenje nivoa goriva u rezervoaru je ključni parametar za ekonomičnost, bilo da je u pitanju bezbedna vožnja ili sprečavanje krađe goriva. Troškovi automatski postaju manji, što dovodi do uštede ne samo goriva, već i vremena, smanjenju izduvnih gasova koji štetno utiču na okolinu i zdravlje ljudi.

### 7. ZAKLJUČAK

Dugogodišnjim i predanim radom na pružanju transportnih usluga, firma je izgradila veliko ime i postala sinonim za kvalitet, koji je u svakom poslu neophodan, pa i u ovom.

Na ispunjenje zahteva savremenog društva, sa aspekta transporta robe, potrebno je naći novi pristup u rešavanju problema saobraćaja i transporta. Saobraćajne nezgode, prenaseljenost, loša saobraćajna infrastruktura, kao i sve veća emisija štetnih izduvnih gasova, uzimaju danak u svakodnevnom životu, proizvodnji i utiču na kvalitet života uopšte.

U oblasti međunarodnog transporta, ali i transporta uopšte, sve više se insistira na konceptu kvaliteta, teži se da kvalitet ima prednost nad kvantitetom. Upravo uvođenjem ovog koncepta, sistema kvaliteta, firma može da savlada sve jaču konkurenciju na tržištu transportnih usluga, da zadovolji korisnike usluga tako i sopstvene potrebe i da pri tome sistem ostane profitabilan, što zapravo i jeste osnovno cilj.

Iz svega priloženog može se zaključiti da autotransportno preduzeće „MS Transport“ ima potencijal da iskoristi i isprati na adekvatan način rast tržišta transportnih usluga, da konstantno beleži pozitivno poslovanje, permanentno teži usavršavanju i podizanju nivoa kvaliteta svojih usluga, primenjuje i prihvata nove tehnologije i na taj način da bude među liderima u pružanju usluga međunarodnog transporta.

## 8. LITERATURA

- [1] Dr Pavle Gladović „Tehnologija drumskog saobraćaja“ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2007. godina,
- [2] Dr Vladeta Gajić, „Logistika preduzeća“, skripta sa predavanja,
- [3] Dr Pavle Gladović, Organizacija drumskog saobraćaja“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2008. godina,
- [4] Dr Vladeta Gajić, „Špedicija“ skripta sa predavanja,
- [5] Dr Milomir Veselinović, „Sistem kvaliteta u drumskom transportu“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2008.godina,
- [6] Dokumentacija autotransportnog preduzeća “MS TRANSPORT” Doo iz Vognja
- [7] Diplomski rad: Stefan Živković-master rad-predmet: Analiza i unapređenje organizacije upravljanja autotransportne delatnosti u okviru preduzeća “”DOO Zrenjanin, FTN, Novi Sad, 2019.

## Kratka biografija:



**Milan Gvoka** rođen je u Sr. Mitrovici 1992. god. Master rad na fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaja – Analiza i mere za unapređenje organizacije i upravljanja autotransportnog preduzeća «MS TRANSPORT DOO. odbranio je 2021. godine.



**Dr Pavle Gladović** je redovni profesor na fakultetu tehničkih nauka, katedra za tehnologije transportno-logističkih sistema



**БЕЗБЕДНОСТ ПРОФЕСИОНАЛНИХ ВОЗАЧА У САОБРАЋАЈУ****TRAFFIC SAFETY OF PROFESSIONAL DRIVERS**

Ивана Крсмановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – САОБРАЋАЈ**

**Кратак садржај** – Професионални возачи представљају веома значајну циљну групу у безбедности саобраћаја. Њихова изложеност саобраћају повећава ризик настанка саобраћајних незгода у односу на остале учеснике у саобраћају. У раду су разматрани основни елементи безбедности професионалних возача у саобраћају.

**Кључне речи:** Безбедност саобраћаја, професионални возачи.

**Abstract** – Professional drivers are a very important target group in traffic safety. Their exposure to traffic increases the risk of accidents compared to other road users. The paper discusses the basic elements of traffic safety of professional drivers.

**Keywords:** Traffic safety, Professional drivers.

**1. УВОД**

Процењује се да се широм света повреди 50 милиона људи, а додатних 1,2 милиона људи годишње страда у саобраћајним незгодама. Већина ових незгода дешава се у земљама са ниским и средњим приходима паралелно са темпом економског раста (WHO, 2019). Саобраћајне незгоде моторних возила на раду, односно професионалних возача у саобраћају, догађају се на радном месту, током вожње повезане са послом (искључујући путовање на посао).

Незгода моторних возила професионалних возача на послу, често је водећи узрок смрти и главни фактор губитка живота на радном месту у индустријализованим земљама. Већина саобраћајних незгода везаних за посао укључују службене аутомобиле.

У Сједињеним Америчким Државама, Аустралији и Европској унији, саобраћајне незгоде професионалних возача (на раду) доприносе отприлике једној четвртини, до преко трећине свих смртних случајева на раду. Треба напоменути да различите дефиниције незгода на раду отежавају једноставно међународно поређење статистике о саобраћајним незгодама везаним за посао.

Предмет рада су професионални возачи у саобраћају.. Циљеви рада су: (1) дефинисати проблем безбедности професионалних возача у саобраћају; (2) навести могуће факторе који утичу на безбедност професионалних возача у саобраћају.

**Напомена:**

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Јовановић, ред. проф.

**2. ПРОФЕСИОНАЛНИ ВОЗАЧИ И ПРОБЛЕМ БЕЗБЕДНОСТИ У САОБРАЋАЈУ****2.1 Професионални возачи**

Професионални возачи су они возачи који користе возила у сврху рада. Вожња возила у сврху рада активност је коју предузимају многи учесници у саобраћају. У професионалне возаче убрајамо продаваче, трговце, курире, samozапослене особе, особе које возе приватна возила за посао (нпр. „сива флота“), особе које возе службена возила, оне који возе радна возила и у радне и нерадне сврхе, те оне који су запослени у вожњи аутомобила, комбија и других специјалних возила (Dimmer i Parker, 1999).

Професионални возачи који возе као део свог посла изложени су великом ризику од незгоде због превелике километраже (изложености) на путу.

Од непрофесионалних возача разликују се у неколико карактеристика. На пример, професионална вожња захтева неке унапред одређене задатке, док непрофесионална вожња сама одређује своје ризике и потешкоће у вожњи (Caird i Kline, 2004). Прецизније, непрофесионални возачи флексибилније бирају када ће возити, које ће возило и пут користити, као и брзину вожње, па им је према томе вожња саморегулиранији задатак.

Међутим, професионални возачи возе у складу са унапред утврђеним редом вожње, прописима о радном времену итд.. Поред тога, професионални возачи понекад морају да возе у непознатом окружењу на великим удаљеностима као део своје радне праксе (Lam, 2004). Штавише, у професионалној вожњи култура, безбедносни поступци и безбедносна клима организације у којој раде су међу одлучујућим факторима колико ће безбедно управљати возилом. Професионални возач поштује правила и процедуре компаније и истовремено узима у обзир ситуацију на путу и варијабилне односе са околином као што су услови на путу, осветљеност, временски услови и услови сезоне. Према томе, безбедност професионалних возача у саобраћају постаје све већа брига владе, организација и заједнице.

**2.2 Проблем безбедности професионалних возача у саобраћају**

Саобраћајне незгоде моторних возила на раду идентификоване су као примарни узрок професионалне смрти и повреда широм света. Према томе, вожња возила у радне сврхе потенцијално је једна од најопаснијих операција које се предузимају у свакодневним радним активностима радника. Доказ овог ризика јесте преко-

мерна заступљеност саобраћајних незгода и повреда током обављања радних дужности.

Значај овог проблема открива се на глобалном нивоу. Биро за статистику рада (2013) у САД известио је да је 2012. око 36% смртних случајева на послу повезано са моторним возилима везаним за посао. Ова статистика наглашава пораст броја незгода на раду повезаних са моторним возилима у односу на претходне статистике идентификоване у САД. Поред тога, у оквиру Европске уније неке државе чланице пријавиле су између 40-60% смртних случајева повезаних са возилима током вожње у сврху рада (DaCoTA, 2012). Кина је такође пријавила високу инциденцију смртних случајева у којима су учествовала комерцијална возила са 20.648 смртних случајева у 2011. години, што чини 33% свих смртних случајева на путевима. Надаље, статистика Новог Зеланда наводи да је приближно 30% свих смртних случајева на радном месту и 13% свих повреда на радном месту резултат саобраћајних незгода (Newton et al., 2013).

Неке европске земље пријавиле су побољшања у општој безбедности на радном месту, укључујући смањење укупних повреда на раду и смртних случајева током последњих година. Шпанска статистика је указала да се број општих повреда у друмском саобраћају смањило за 23% за не фаталне и 63% за смртне повреде. Међутим, саобраћајне повреде повезане са послом и даље су у Шпанији константно високе, с тим да је 10% свих повреда на послу и свака трећа смртна повреда пријављена као саобраћајна незгода (DeVicente, Verdejo i De la Orden, 2012).

### 3. ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА БЕЗБЕДНУ ВОЖЊУ НА ПОСЛУ

При развоју иницијатива за управљање ризиком на раду, корисно је размотрити узроке који доприносе инцидентима.

Истраживачи из Уједињеног Краљевства недавно су развили модел професионалног ризика на путу (Bomel, 2004). Идентификовали су:

- умор;
- индивидуалне ставове;
- притисак/стрес и
- погодне људске ресурсе као директне факторе који утичу на професионални ризик на путу.

Тakoђе су идентификовали неколико утицаја на нивоу организације и политике. На организационом нивоу, идентификовани су кључни фактори:

- процедуре;
- планирање;
- плата и услови;
- обука;
- комуникације и
- управљање инцидентима.

На нивоу политике, идентификовани кључни фактори су:

- власништво и контрола;
- организациона структура;
- управљање безбедношћу;
- стратегија уговарања и
- профитабилност.

Даље, на основу анкета спроведених у Финској, (Salminen i Lahdeniemi, 2002) идентификовали су умор, временски притисак, размишљање о послу током вожње и употребу мобилних телефона као значајне факторе професионалног ризика на путу.

#### 3.1. Понашање професионалних возача

Студије су показале разлике између понашања професионалних и непрофесионалних возача. На пример, у студији која истражује понашање српских возача, пријављено је да у поређењу са непрофесионалним возачима, професионални возачи чине мање грешака, са више позитивним понашањем. У другој студији утврђено је да су возачи тешких возила склонији умору од непрофесионалних возача. Међутим, важно је напоменути да се професионалне групе возача такође међусобно разликују (тј. таксисти, возачи теретних возила, возачи службених аутомобила) у погледу понашања у саобраћајном окружењу.

Поред тога, забележено је да возачи минибуса добијају више казни од возача тешких возила. Фактори повезани са послом који утичу на понашање возача попут расејаности, умора и брзине, а такође и могући фактори повезани са компанијом попут проблема са оптерећењем и временског притиска показали су се као фактори који доприносе овим незгодама.

С друге стране, најчешћи пријављени разлог незгоде возача службених аутомобила су прекомерна брзина и алкохол. Прекомерна брзина и временски притисак појавили су се као фактори који доприносе незгодама код возила хитних служби. Каирд и Клине (2004) су утврдили да је добро планирање вожње пре посла повезано са смањењем броја незгода и умором. У другој студији, Салминен и Лахдениеми (2002) су идентификовали неке факторе ризика за професионалне возаче, међу којима су временски притисак, умор, размишљање о послу током вожње и употреба мобилног телефона.

Ови фактори су позвани као додатни мотиви, јер нису директно повезани са вожњом, али могу умањити концентрацију и утицати на процес одлучивања возача у саобраћају.

Међу овим факторима ризика, брзина се појавила као први фактор ризика о којем се највише извештава, посебно међу возачима који се баве продајом и маркетингом, а умор као други.

Понашање професионалних возача у тесној је вези са непосредним и дугорочним капацитетом возача и безбедносном праксом предузећа (тј. рад компаније, одлуке управе, услови на радном месту). Због тога је важно узети у обзир карактеристике посла током проучавања понашања код професионалних возача. Три широке врсте утицаја на понашање у вожњи везано за посао су: безбедносна клима, карактеристике посла и индивидуалне разлике. Истражена је свака компонента модела како бисмо идентификовали опсег контекстуалних, повезаних са послом и појединачних фактора које треба узети у обзир у организационим стратегијама око вожње повезане са послом. Ниједна претходна студија није систематски испитивала начин на који ови процеси комбинују утицај на професионалне возаче.

### 3.2. Безбедносна клима и клима

Последњих година безбедносна клима је идентификована као важан показатељ здравствених и безбедносних проблема на радном месту (Zohar, 2000). Утицај безбедносне климе на извршење задатака и стопе повреда утврђен је у бројним студијама.

Иако је важност безбедносне климе/културе добро препозната у литератури о заштити на раду, утицај безбедносне климе на понашање професионалних возача није испитано.

У литератури постоје индикације које указују на то да ће безбедносна клима и клима вероватно утицати на безбедно понашање у возњи.

Концепт „безбедносне културе и климе“ подупиरे многе организационе интервенције за побољшање безбедности радника. Постоје неки докази да стварање јаке „безбедносне културе“ може имати позитиван утицај на побољшање безбедности на путевима смањењем незгода професионалних возача, мада се такође напомиње да је клима безбедности у саобраћају релативно нов концепт, те не постоји сагласност у погледу природе концепта, нити тога како га треба дефинисати. Концепт безбедносне културе први пут се појавио у извештају Међународне саветодавне групе за нуклеарну безбедност (ИНСАГ) о катастрофи у нуклеарној електрани у Чернобиљу 1986. године.

Овај концепт се може дефинисати као „скуп основних претпоставки, веровања, вредности и ставова које деле чланови организације, који ступају у интеракцију са структурама и системима организације и ширим контекстуалним окружењем да би се дошло до спољашњих, лако видљивих пракси, које утичу на безбедност“. Овај концепт има дугу историју примене у организационој безбедности током последњих 25 година, али се тек недавно појавио у литератури о безбедности у саобраћају (Edwards et al., 2013). Ипак, прелиминарна истраживања су дала позитивне резултате у погледу утицаја безбедносне климе.

Даље проширење концепта безбедносне климе је оно о безбедносној клими, које се односи на заједничко виђење запослених о посвећености и раду руководства у погледу пракси, политика и поступака безбедности у возњи.

Као таква, безбедносна клима возње и професионалних возача чини део ширег концепта безбедносне културе, али се фокусира првенствено на перцепцију радника и на тај начин представља психолошку конструкцију.

ПРЕЛИМИНАРНО ИСТРАЖИВАЊЕ идентификовало је низ општих димензија које могу утицати на климу безбедности професионалних возача, укључујући: посвећеност руководиоца и управе; радне захтеве и притисак; поверење, укључујући комуникацију и подршку; прикладност безбедносних правила као и безбедносне обуке (Wills et al., 2006).

Што се тиче утицаја на безбедносне перформансе, постоје неки докази о повезаности између безбедносне климе и безбедносних исхода у погледу: тренутног самопријављеног понашања возача и будућих намера возње на раду; стопе инцидената; и самопријављених безбедносних понашања и повреда. На пример, Вилс и сар. (2006) открили су да су и појединачни фактори

(нпр. безбедносни ставови) и организациони фактори (нпр. перцепција безбедносне климе) утицали на тренутно понашање у возњи, као и на будуће намере по питању возње. Невнам и сар. (2008) такође су извештавали о томе да унутар узорка испитаника, професионалних возача, и појединачни фактори, и вредности организације могу утицати на безбедносне исходе. Упркос овом истраживању, претпоставља се да је постигнуто мало теоретског или концептуалног напретка у домену безбедности током професионалне возње, а у истраживањима се ретко користе такви оквири за истраживање проблема у возњи у оквиру професионалне делатности.

Ипак, с обзиром на могућу повезаност између безбедносне климе и безбедносних исхода, предлаже се да климатска безбедност професионалних возача може бити повезана са исходима безбедности током возње на раду (нпр. побољшана безбедност) и стога је вредна даљег истраживања.

### 3.3. Карактеристике посла

Такође је познато да карактеристике посла имају утицаја на перцепцију безбедности и исходе у организацијама. У организационој литератури преоптерећеност радом дефинисана је као прекомерни радни захтеви који заузврат утичу на радне учинке. Утврђено је да је преоптерећење радом значајно повезано са небезбедним понашањима (Parker, Axtell i Turner, 2001). Сукоб улога односи се на степен јасноће у вези са радним улогама у организацији.

Иако су радно оптерећење и јасноћа улога често предиктори радног учинка у организационој литератури, они су такође имплицирани као фактори који утичу на безбедност возње у вези са радом. Утврђено је да је оптерећење варијабла која утиче на безбедно понашање возача у вези са радом (Downs, Keigan, Mauck i Grayson, 1999). Традиционално се верује да професионални возачи имају већу стопу незгода јер су изложени временском притиску што за последицу има повишену брзину возње.

Што се тиче јасноће улога, прошла истраживања су показала да возачи нису у потпуности свесни својих одговорности приликом возње радног возила. Посебно је пажња била усредсређена на поседовање возила. Иако не постоје емпијски докази који поткрепљују ову тврдњу, постоји сугестија да возачи мање воде рачуна о службеним возилима јер возила нису у њиховом власништву, за њих постоји мало или нимало финансијског терета у случају оштећења.

Због тога професионални возачи могу више ризиковати и имати мање одговоран став према службеним возилима у односу на властита. Карактеристике посла попут радног оптерећења и јасноће улога идентификоване су као важне димензије за разумевање перцепције појединаца о општој организационој клими.

Узимајући у обзир да се безбедносна клима односи на перцепцију појединаца о компоненти опште организационе климе, могло би се претпоставити да радно оптерећење и јасноћа улога такође могу бити важне димензије у вредновању безбедносне климе. Истраживање је такође пронашло везу између самоефикасности и радног оптерећења и јасноће улога.

### 3.4. Индивидуалне разлике

Широк спектар индивидуалних разлика повезан је са безбедносним понашањем, почев од стабилних диспозиција попут неуротицизма до пролазних стања расположења (Brewin, 1984). У овом раду фокус је на улози самоефикасности која је веровање у нечију способност извршења одређеног задатка кроз позитивно понашање да би се постигао жељени исход. Поред истраживања која указују на везу између самоефикасности и радног учинка у литератури о организационом понашању, утврђена је и веза између самоефикасности и перцепције радног оптерећења и јасноће улога (Jex i Bliese, 1999). Верује се да су стресови, као што су двосмисленост улога и преоптерећеност послом, у радном окружењу мање штетни када запослени имају позитивнију самоефикасност.

### 4. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Незгоде моторних возила професионалних возача на послу, често је водећи узрок смрти и главни фактор губитка живота на радном месту у индустријализованим земљама. Као глобална заједница, одговорност за стварање безбеднијег саобраћајног окружења треба прихватити и предузети мере за управљање путним ризицима. Управљање путним ризицима везаним за посао једно је подручје у којем се потенцијално могу постићи велики добици у глобалној безбедности на путевима.

Организације имају потенцијал да побољшају безбедност на путевима на многе начине, укључујући избор безбедних возила и негујући културу безбедности на путевима која може утицати на запослене у возњи како у радне, тако и у нерадне сврхе.

Побољшање безбедности професионалних возача у саобраћају и управљања возилима, знатно би побољшало безбедност на путевима у целини. Међутим, научно разумевање и праћење кључних проблематичних области, њихових решења и утицаја на повреде на путевима и професионалне саобраћајне незгоде је ограничено и треба их даље развијати.

### 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Brewin, C. (1984). Attributions for industrial accidents. Their relationship to rehabilitation outcome. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 2 (2) 156-164
- [2] Bomel Ltd (2004) Safety Culture and Work-related Road Accidents, Road Safety Research Report No. 51 Author: BOMEL Ltd
- [3] Caird, K. J., & Kline, T. J. (2004). The relationships between organizational and individual variables to on-the-job driver accidents and accident-free kilometers. *Ergonomics* 47 (15), 1598-1613.
- [4] DaCoTA. (2012). Work-related road safety, Deliverable 4.8v of the EC FP7 project DaCoTA. Retrieved from [www.dacota-project.eu](http://www.dacota-project.eu)
- [5] Downs, C.G., Keigan, M., Maycock, G. and Grayson, G.B. (1999) The Safety of Fleet Car Drivers: a Review. TRL

- [6] Dimmer, A. R., & Parker, D. (1999). The accidents, attitude and behaviour of company car drivers. In *Behavioural Research in Road Safety* IX. pp3524/99.
- [7] de Vicente Abad, M. A., Verdejo, M. Z., & de la Orden Rivera, M. V. (2012). Traffic-related occupational injuries.
- [8] Edwards, J. R., Davey, J., & Armstrong, K. (2013). Returning to the roots of culture: A review and re-conceptualisation of safety culture. *Safety science*, 55, 70-80.
- [9] Jex, S. M., & Bliese, P. D. (1999). Efficacy beliefs as a moderator of the impact of work-related stressors: A multilevel study. *Journal of Applied Psychology*, 84 (3) 349-361.
- [10] Lam, L. T. (2004). Environmental factors associated with crash-related mortality and injury among taxi drivers in New South Wales, Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 36(5), 905-908.
- [11] Newton, J., Howard, E., & Wiśart, D. (2013). Occupational work-related road safety guide: A guide to applying road safety within a workplace. National Road Safety Partnership Program Australia.
- [12] Parker, S. K., Axtell, C. M., & Turner, N., (2001). Designing a safer workplace: Importance of job autonomy, communication quality, and supportive supervisors. *Journal of Occupational Health Psychology*, 6 (3) 211-228.
- [13] Salminen, S. & Lähdeniemi, E. (2002). Risk factors in work-related traffic. *Transportation Research, Part F*, 5, 77-86.
- [14] Wills, A. R., Watson, B., & Biggs, H. C. (2006). Comparing safety climate factors as predictors of work-related driving behavior. *Journal of safety research*, 37(4), 375-383.
- [15] World Health Organization (2019). World report on road traffic injury prevention. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- [16] Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: Testing the effect of group climate on micro accidents in manufacturing jobs. *Journal of Applied Psychology*, 85:587-596.

### Кратка биографија:

**Ивана Крсмановић** рођена је у Шапцу. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Безбедност саобраћаја одбранила је 2021. год.



**U realizaciji Zbornika radova Fakulteta tehničkih nauka u toku 2020. godine učestvovali su sledeći recenzenti:**

|                      |                     |                     |                      |
|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Aco Antić            | Đorđe Lađinović     | Milan Mirković      | Slobodan Krnjetin    |
| Aleksandar Erdeljan  | Đorđe Obradović     | Milan Rapajić       | Slobodan Morača      |
| Aleksandar Kovačević | Đorđe Vukelić       | Milan Segedinac     | Sonja Ristić         |
| Aleksandar           | Đula Fabian         | Milan Simeunović    | Srđan Kolaković      |
| Kupusinac            | Đura Oros           | Milan Trifković     | Srđan Popov          |
| Aleksandar Ristić    | Đurđica Stojanović  | Milan Trivunić      | Srđan Vukmirović     |
| Bato Kamberović      | Filip Kulić         | Milan Vidaković     | Staniša Dautović     |
| Biljana Njegovan     | Goran Sladić        | Milena Krklješ      | Stevan Gostojić      |
| Bogdan Kuzmanović    | Goran Švenda        | Milica Kostreš      | Stevan Milisavljević |
| Bojan Batinić        | Gordana             | Milica Miličić      | Stevan Stankovski    |
| Bojan Lalić          | Milosavljević       | Mijodrag Milošević  | Strahil Gušavac      |
| Bojan Tepavčević     | Gordana Ostojić     | Milovan Lazarević   | Svetlana Bačkalić    |
| Bojana Beronja       | Igor Budak          | Miodrag Hadžistević | Svetlana Nikoličić   |
| Branislav Atlagić    | Igor Dejanović      | Miodrag Zuković     | Tanja Kočetov        |
| Branislav Nerandžić  | Igor Karlović       | Mirjana Damnjanović | Tatjana Lončar -     |
| Branka Nakomčić      | Igor Peško          | Mirjana Malešev     | Turukalo             |
| Branko Milosavljević | Ivan Beker          | Miroslava Radeka    | Uroš Nedeljković     |
| Branko Škorić        | Igor Maraš          | Mirko Borisov       | Valentina Basarić    |
| Damir Đaković        | Ivan Mezei          | Miro Govedarica     | Velimir Čongradec    |
| Danijela Ćirić       | Ivan Todorović      | Miroslav Hajduković | Veran Vasić          |
| Danijela Gračanin    | Ivana Katić         | Miroslav Kljajić    | Veselin Perović      |
| Danijela Lalić       | Ivana Kovačić       | Miroslav Popović    | Višnja Žugić         |
| Darko Čapko          | Ivana Maraš         | Miroslav Zarić      | Vladimir Katić       |
| Darko Marčetić       | Ivana Miškeljin     | Mitar Jocanović     | Vladimir Mučenski    |
| Darko Reba           | Jasmina Dražić      | Mitar Đogo          | Vladimir Strezoski   |
| Dejan Ecet           | Jelena Atanacković  | Mladen Kovačević    | Vlado Delić          |
| Dejan Jerkan         | Jeličić             | Mladen Tomić        | Vlastimir Radonjanin |
| Dejan Ubavin         | Jelena Borocki      | Mladen Radišić      | Vojin Ilić           |
| Dejana Nedučin       | Jelena Demko Rihter | Nebojša Brkljač     | Vuk Bogdanović       |
| Dragan Ivanović      | Jelena Radonić      | Neda Milić Keresteš | Zdravko Tešić        |
| Dragan Jovanović     | Jelena Slivka       | Nemanja             | Zoran Anišić         |
| Dragan Ivetić        | Jelena Spajić       | Stanisavljević      | Zoran Brujić         |
| Dragan Jovanović     | Jovan Petrović      | Nemanja Sremčev     | Zoran Čepić          |
| Dragan Kukolj        | Jovanka Pantović    | Nikola Đurić        | Zoran Jeličić        |
| Dragan Mrkšić        | Laslo Nađ           | Nikola Jorgovanović | Zoran Mitrović       |
| Dragan Pejić         | Lazar Kovačević     | Nikola Radaković    | Zoran Papić          |
| Dragan Šešlija       | Leposava Grubić     | Ninoslav Zuber      | Željen Trpovski      |
| Dragana Bajić        | Nešić               | Ognjen Lužanin      | Željko Jakšić        |
| Dragana              | Livija Cvetičanin   | Pavel Kovač         |                      |
| Konstantinović       | Ljiljana Vukajlov   | Peđa Atanasković    |                      |
| Dragana Šarac        | Ljiljana Cvetković  | Petar Malešev       |                      |
| Dragana Štrbac       | Ljubica Duđak       | Platon Sovilj       |                      |
| Dragoljub Šević      | Maja Turk Sekulić   | Predrag Šidžanin    |                      |
| Dubravka Bojanić     | Marinko Maslarić    | Radivoje Dinulović  |                      |
| Dušan Dobromirov     | Marko Marković      | Radomir Kojić       |                      |
| Dušan Gvozdenac      | Marko Todorov       | Radovan Štulić      |                      |
| Dušan Kovačević      | Marko Vekić         | Relja Strezoski     |                      |
| Dušan Uzelac         | Maša Bukurov        | Slavica Mitrović    |                      |
| Duško Bekut          | Matija Stipić       | Slavko Đurić        |                      |
| Đorđe Ćosić          | Milan Čeliković     | Slobodan Dudić      |                      |