



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке - зборници

Година: XXXVII

Број: 9/2022

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“

Година: XXXVII

Свеска: 9

Издавач: Факултет техничких наука Нови Сад

Главни и одговорни уредник: проф. др Срђан Колаковић, декан Факултета техничких наука у Новом Саду

Уредништво:

Проф. др Срђан Колаковић
Проф. др Александар Купусинац
Проф. др Борис Думнић
Проф. др Дарко Стефановић
Проф. др Себастиан Балоиш
Проф. др Дејан Лукић
Проф. др Јован Дорић
Проф. др Мирослав Кљајић
Проф. др Немања Тасић
Проф. др Дејан Убавин

Проф. др Милан Видаковић
Проф. др Мирјана Дамњановић
Проф. др Јелена Атанацковић Јеличић
Проф. др Игор Пешко
Проф. др Драган Јовановић
Проф. др Небојша Ралевић
Доц. др Сања Ожват
Проф. др Немања Кашиковић
Проф. др Теодор Атанацковић

Редакција:

Проф. др Дарко Стефановић, главни уредник
Проф. др Жељен Трповски, технички
уредник

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 Стеван Станковски, 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
Срђан Колаковић. – 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) 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 01.04.2022. до 31.08.2022. год., а који се промовишу 21.09.2022. 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,
- саобраћаја и
- графичког инжењерства и дизајна.

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

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

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. Цвијета Илић, АНАЛИЗА РАДА ДЕАЕРАТОРА У УСЛОВИМА ПРОМЈЕНЉИВОГ ОПТЕРЕЋЕЊА СИСТЕМА	1351-1354
2. Vladimir Radulaški, Branko Škorić, PROJEKTOVANJE UREĐAJA ZA TERMIČKU OBRADU ZUPČANIKА	1355-1358
3. Dejan Vurdelja, RAD CENTRIFUGALNIH PUMPI SA VISOKOVISKOZNIM I NENJUTNOVSKIM FLUIDIMA	1359-1362
4. Вук Маровић, Дамир Ђаковић, АНАЛИЗА РАЗЛИЧИТИХ МЕТОДА СУШЕЊА ДРВЕТА СА СТАНОВИШТА КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ	1363-1366
5. Марко Микулек, Драган Рајновић, БРЗОРЕЗНИ ЧЕЛИЦИ – ЗАМОРНО ПОНАШАЊЕ И ИСПИТИВАЊЕ ПОВРШИНЕ ЛОМА...	1367-1370
6. Никола Црногорац, ПОРЕЂЕЊЕ ОПТЕРЕЂЕЊА КОМПОНЕНТИ КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА БОКСЕР-2 И V-2 МОТОРА	1371-1374
7. Denis Stjepanović, RAZMATRANJE UTICAJA POČETKA UBRIZGAVANJA GORIVA PRI RAZLIČITIM REŽIMIMA RADA NA NORMALNU SILU KOD DIZEL MOTORA	1375-1378
8. Vladimir Malenov, 3D ŠTAMPA DELA ZA NADOGRADNJU INDUSTRIJSKOG ROBOTA U OKVIRIMA INDUSTRIJE 4.0.....	1379-1382
9. Горан Китић, Никола Иланковић, АНАЛИЗА РАДА ХАВАРИЈСКЕ КОЧНИЦЕ ДИЗАЛИЦЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА	1383-1386

Radovi iz oblasti: Elektrotehnika i računarstvo

1. Jana Kudus, 3D REKONSTRUKCIJA SCENE NA OSNOVU KRETANJA KAMERE	1387-1390
2. Dimitrije Salić, TUNELIRANJE PROTOKOLIMA KOJIMA TO NIJE OSNOVNA NAMENA	1391-1394
3. Vladan Orašanin, Željko Trpovski, IMPLEMENTACIJA HFC MREŽE	1395-1398
4. Mihailo Stanarević, UPOTREBA ELK STEKA TEHNOLOGIJA ZA OBRADU I ANALIZU SISTEMSKIH LOGOVA	1399-1402

	STRANA
5. Tatjana Šestiћ, ХАРДВЕРСКИ ДИЗАЈН СПЕЦИЈАЛНИХ ДЕЛОВА СТОМАТОЛОШКЕ СТОЛИЦЕ	1403-1406
6. Marina Bartulov, IMPLEMENTACIJA DECENTRALIZOVANIH FINANSIJSKIH APLIKACIJA NA ETHEREUM PLATFORMI	1407-1410
7. Predrag Glavaš, PREDVIĐANJE CENA KRIPTOVALUTA UPOTREBOM ARIMA I ARIMAKS MODELA	1411-1414
8. Драгана Грбић, ОДРЕЂИВАЊЕ ПАСА ПАСА И МАЧАКА УПОТРЕБОМ ДУБОКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА.....	1415-1418
9. Milena Kovačević, ANALIZA I POREĐENJE PERFORMANSI K-D STABLA I LOPTASTOG STABLA KAO PROSTORNIH STRUKTURA PODATAKA U DVODIMENZIONALNOM PROSTORU	1419-1422
10. Stevan Bačević, Darko Marčetić, VEKTORSKO UPRAVLJANJE ASINHRONIM MOTOROM UZ MAKSIMIZACIJU ODNOSA MOMENT-STRUJA	1423-1426
11. Tamara Kuprešanin, Miroslav Popović, JEDNO REŠENJE LANCA-BLOKOVA	1427-1430
12. Đorđe Đozlija, Vladimir Rajs, NAPREDNA JTAG (JOINT TEST ACTION GROUP) KONTROLNA PLOČA ZA VERIFIKOVANJE ŠAMPANIH PLOČA U PROIZVODNOM PROCESU	1431-1434
13. Borislav Trbović, PRIMENA SENZORA U OKVIRU SHM KONCEPTA KROZ REŠENJE KREIRANO POMOĆU LABVIEW PROGRAMSKOG OKRUŽENJA	1435-1438
14. Luka Dorić, INTELIGENTNI TUTORING SISTEM ZA OBUKU INŽENJERA SOFTVERA	1439-1442
15. Aleksandar Vujinović, DETEKCIJA SARKAZMA U NASLOVIMA NOVINSKIH ČLANAKA UPOTREBOM NEURONSKIH MREŽA	1443-1446

Radovi iz oblasti: Građevinarstvo

1. Vladimir Kučerović, PROJEKAT AB UKRUĆENE SKELETNE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE ZGRADE PREMA EVROKODU I UPOREDNA ANALIZA OKVIRA PREMA EC8 I BAB87	1447-1449
2. Nada Pekeljević, PROJEKAT ARMIRANO BETONSKE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE STAMBENO- POSLOVNE ZGRADE U BANJOJ LUCI	1450-1453
3. Agnes Ištván, HIDRAULIČKA ANALIZA OTPADNE I ATMOSFERSKE VODE NA LOKALITETU RADNE ZONE U KAČU	1454-1457
4. Nikola Pongrašić, PRIMENA „LEAN CONSTRUCTION“ U GRAĐEVINARSTVU – PRIMER PREFABRI-KOVANE ARMIRANO BETONSKE HALE OD PROIZVODNJE DO MONTAŽE	1458-1460
5. Dragan Vasić, POREĐENJE ODGOVORA ZGRADE SA TAVANICAMA DIREKTNO OSLOJENIM NA STUBOVE ZA RAZLIČITE SEIZMIČKE ULAZE	1461-1464
6. Filip Jakovljević, ANALIZA VIBRACIJA MOSTOVA USLED DINAMIČKOG PEŠAČKOG OPTEREĆENJA	1465-1468
7. Глигорије Вујачић, УПРАВЉАЊЕ ПРОЈЕКТИМА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ У ЗАВИСНОСТИ ОД ТИПА УГОВОРА	1469-1472

8. Marko Travica, IDEJNO REŠENJE ODVOĐENJA ATMOSFERSKIH VODA NASELJA OPOVO SISTEMOM OTVORENIH I ZATVORENIH KANALA	1473-1476
9. Ksenija Pejković, PROCENA STANJA, REVITALIZACIJA I ENERGETSKA SANACIJA LOVAČKOG RESTORANA „KOŠUTNJAK“ U KRAGUJEVCU	1477-1480
10. Marijana Petrović, Mirjana Malešev, PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA VIŠEPORODIČNE STAMBENE ZGRADE U KRALJEVU	1481-1484
11. Mitar Salapura, PRIMENA PROGRAMSKOG PAKETA CIVIL 3D SA PRIMEROM NA DEONICU GRADSKJE SAOBRAĆAJNICE	1485-1488
12. Бојан Зарић, МЕТОДОЛОШКЕ ОСНОВЕ ЗА ПЛАНИРАЊЕ И ПРОЈЕКТОВАЊЕ STOL АЕРОДРОМА ЗА МАЛИ САОБРАЋАЈ - ПРИМЕР АЕРОДРОМА „ВЕЛИКИ РАДИНЦИ“	1489-1492

Radovi iz oblasti: Saobraćaj

1. Nenad Lukić, STRATEŠKO OBLIKOVANJE DISTRIBUTIVNE MREŽE SLUŽBE ZA DOSTAVU -STUDIJA SLUČAJA....	1493-1496
2. Dragana Marković, MODEL PROJEKTA JAVNO-PRIVATNOG PARTNERSTVA U OBAVLJANJU KOMUNALNE DELATNOSTI JAVNOG GRADSKOG I PRIGRADSKOG PREVOZA PUTNIKA NA TERITORIJI GRADA NIŠA	1497-1499
3. Maja Romandić, Pavle Pitka, UTICAJ IZMENE REŽIMA SAOBRAĆAJA NA KVALITET USLUGE - STUDIJA SLUČAJA LINIJA BROJ 2 NOVI SAD	1500-1503
4. Atila Horvat, ANALIZA USLOVA ODVIJANJA SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICI ULICA MARŠALA TITA, PETEFI BRIGADE I GLAVNE U BAČKOJ TOPOLI SA PREDLOGOM VARIJANTNIH REŠENJA ...	1504-1507

Radovi iz oblasti: Grafičko inženjerstvo i dizajn

1. Teodora Stojanović, Ivana Jurič, KONTROLA OŠTRINE FOTOGRAFIJA DOBIJENIH POMOĆU ZADNJIH KAMERA MOBILNIH TELEFONA	1508-1511
2. Željana Crnojački, Savka Adamović, UTICAJ STARENJA NA ČESTICE PERLESCENTNIH PIGMENATA	1512-1515
3. Svetlana Isakov, Nemanja Kašiković, Rastko Milošević, DIGITALNA INK JET ŠTAMPA NA KERAMIČKIM PLOČICAMA	1516-1519
4. Sofija Stojinović, ISPITIVANJE EFEKTIVNOSTI DIZAJN TRENDOVA VEB APLIKACIJA UPOTREBOM TEHNOLOGIJE PRAĆENJA POGLEDA I KURSORA	1520-1523
5. Valentina Došić, Nemanja Kašiković, Rastko Milošević, POSTOJANOST TEKSTILNIH MATERIJALA ODŠTAMPANIH GRAFIČKIM SISTEMOM POLYPRINT TEXJET ECHO2	1524-1527
6. Danica Vičentić, Sandra Dedijer, ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI IZRADE ŠTAMPAJUĆIH ELEMENATA FLEKSO ŠTAMPARSKJE FORME POMOĆU DLP 3D TEHNOLOGIJE	1528-1531

	STRANA
7. Иван Радисављевић, Стефан Ђурђевић, Драгољуб Новаковић, УНАПРЕЂЕЊЕ КВАЛИТЕТА ПРОЦЕСА ИЗРАДЕ КАРТОНСКЕ АМБАЛАЖЕ ЗА ТЕЧНУ ХРАНУ	1532-1537
8. Aleksandra Živkov, Neda Milić Keresteš, KREIRANJE HYPER-CASUAL IGRE ZA ANDROID UREĐAJE U UNITY RAZVOJNOM OKRUŽENJU	1538-1541
9. Una Novaković, UTICAJ PERSONALIZACIJE APLIKACIJE NA KORISNIČKO ISKUSTVO	1542-1545

АНАЛИЗА РАДА ДЕАЕРАТОРА У УСЛОВИМА ПРОМЈЕНЉИВОГ ОПТЕРЕЋЕЊА СИСТЕМА**ANALYSIS OF DEAERATOR OPERATION IN CONDITIONS OF VARIABLE SYSTEM LOAD**

Цвијета Илић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Деаератори су важне компоненте електроенергетских система, за издвајање растворених гасова из воде. У овом раду анализирани су могући проблеми при раду деаератора током промјене оптерећења, појаве корозије и кавитације. Дат је и примјер утицаја промјенљивог параметра на рад деаератора и напојне пумпе.

Кључне ријечи: деаератор, деаерација, котло, напојна вода, корозија, кавитација, NPSH, напојна пумпа

Abstract – Deaerators are important components of power systems, for the separation of dissolved gases from water. Possible problems in deaerator operation during load change, such as corrosion and cavitation, are analysed in this paper. An example of the influence of a variable parameter on the deaerator operation and a feed pump is also given.

Keywords: deaerator, deaeration, boiler, feed water, corrosion, cavitation, NPSH, feed pump

1. УВОД

Проучавање динамичког понашања различитих делова опреме електране је од великог интереса у скоро свим областима, почевши од истраживања и дизајна, преко заштите при раду, до помоћи у доношењу одлука, оптимизације и анализе успјеха.

Деаератор је важна компонента електроенергетских система, у кругу за предгријавање напојне воде. Деаерација практично представља уклањање растворених гасова из воде која служи за напајање котла или за употребу у другим процесним јединицама. Гасови чије присуство може изазвати проблеме при раду котла су углавном кисеоник и угљен-диоксид који су природно заступљени у води. Ови гасови у нетретираној води дјелују као узрочници корозије у котловима и другим дијеловима постројења.

Поред његове улоге у устаљеним условима, правилан рад деаератора је изузетно важан и током прелазних режима, приликом покретања и прекидања рада електране.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Ђорђије Додер, доцент.

Један од проблема који се може јавити током ових периода је кавитација на усису напојне пумпе, а сврха деаератора јесте и да обезбједи потребну нето позитивну усисну висину (NPSH_a) за пумпу. Може се десити да доступна нето позитивна усисна висина опадне током прелазног периода и изазове кавитацију и оштећења унутрашњих дијелова пумпе.

У овом раду су анализирани утицаји прелазних параметара на рад деаератора и напојне пумпе. Као примјер је дат утицај промјене температуре кондензата на притиске у деаератору и на усису напојне пумпе, као и на доступну нето позитивну усисну висину.

2. ПОЈАМ ДЕАЕРАТОРА И ДЕАЕРАЦИЈЕ

Деаератори су резервоари напојне воде под притиском који се називају и отворени гријачи напојне воде. Деаератори су критичне компоненте многих парних система и имају неколико функција:

- уклањање некондензујућих гасова из напојне воде котла;
- повећање температуре воде за допуну при уласку у систем;
- повећање температуре кондензата прије него што уђе у котло;
- обезбјеђивање складишног капацитета пречишћене напојне воде [1].

Процес деаерације се користи за смањење корозије и уклањање растворених гасова у посебним системима за напајање котловске воде. Присуство растворених гасова попут кисеоника и угљен-диоксида изазива убрзану корозију која скраћује животни вијек и смањује ефикасност котловског система [1].

Котлови и њихови помоћни системи су углавном израђени од угљеничног челика. Пошто је челик на бази гвожђа, а кисеоник реагује с гвожђем, долази до формирања црвеног оксида гвожђа, тј. рђе, док угљен-диоксид ствара слабу угљеничну киселину која нагриза метал. Због тога је императив да садржај растворених гасова у напојној води буде на што нижем нивоу [1].

Брзина корозије не зависи само од нивоа раствореног кисеоника и раствореног угљен-диоксида, већ и од температуре. Високе температуре изазивају високе стопе корозије, чак и са малим количинама растворених гасова. Из тог разлога, нискотемпературни парни системи могу толерисати много веће нивое раствореног кисеоника и угљен-диоксида него системи са високим температурама [1].

2.1. Принцип деаерације

Деаератори раде по Хенријевом закону парцијалног притиска, принципу физичке хемије који каже да је количина раствореног гаса у течности директно пропорционална парцијалном притиску изнад те течности. Када дође до деаерације, парцијални притисак изнад напојне воде котла се смањује како температура воде расте. Једноставније речено, растворљивост гасова у води се смањује са повећањем температуре воде.

Међутим, како се температура воде повећава и приближава температури zasiћења, тако се повећава и количина водене паре у атмосфери изнад течности. Када вода достигне пуну температуру zasiћења (тачку кључања), теоретски у води нема више кисеоника. Дакле, на основу ових физичких карактеристика може се закључити да се кисеоник може уклонити из воде повећањем температуре и смањењем концентрације раствореног кисеоника у атмосфери изнад воде [2].

Растворљивост гаса у течности изражена је Хенријевим законом:

$$C_{total} = k \cdot P \quad (1)$$

Гдје је:

C_{total} – молска запреминска концентрација гаса у раствору [mol/l],

P – парцијални притисак гаса изнад раствора [atm],

k – константа пропорционалности, позната као

Хенријева константа $\left[\frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{atm}} \right]$.

Процес деаерације може се одвијати механички или хемијски. Деаератори представљају механичко рјешење, док хемикалије обезбјеђују хемијско рјешење.

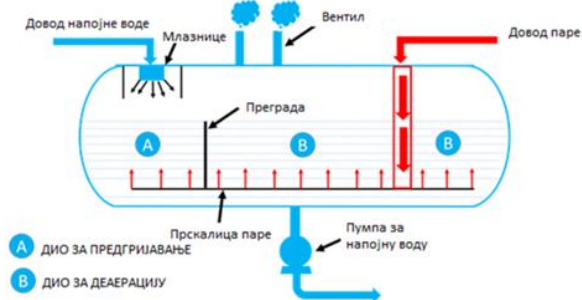
Уобичајни деаератор ће уклонити скоро сав растворени кисеоник и угљен-диоксид, а остатак ће уклонити чистачи кисеоника (натријум сулфид, хидразин, итд.) и чистачи угљен-диоксида (неутрализовани амини, бикарбонати, итд.).

Већина деаератора је пројектована да смањи ниво раствореног кисеоника на 7 ppb, при чему чистачи кисеоника уклањају остатак [1].

2.2. Типови деаератора

Деаератори под притиском су најефикаснији и најзаступљенији у данашњим електранама. Две уобичајене конструкције ових деаератора су са распршивачем и са перфорираним подовима.

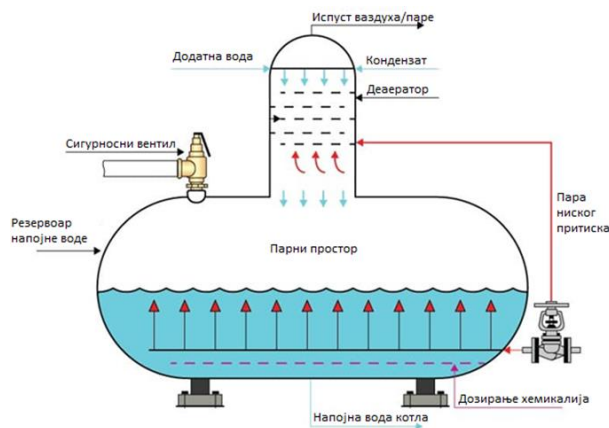
На слици 1 приказан је деаератор са распршивачем у облику хоризонталне посуде са два дијела, дијелом за предгријавање и дијелом за деаерацију. Дијелови су раздвојени преградом.



Слика 1: Деаератор са распршивачем [2]

Вода за напајање котла се доводи са горње стране и распршује се кроз млазнице које имају опруге. Притисак воде доводи до отварања млазница и прскања воде у деаератор. Она се предгријава паром која се доводи у суд. Распршивање воде осигурава велику површину контакта воде и паре, што осигурава добар пренос топлоте између двије фазе. Сврха предгријавања јесте подизање температуре напојне воде на температуру блиску температури zasiћења при радном притиску деаератора.

Претходно загријана напојна вода тада тече у дио за деаерацију која се одвија паром, а она се такође доводи распршивањем. Растворени гасови се уклањају из воде и излазе кроз вентилацију која је постављена на врху посуде. Коначно, третирана напојна вода се са дна посуде преко пумпе одводи до котла.



Слика 2: Деаератор са перфорираним подовима [1]

На слици 2 приказан је деаератор са перфорираним подовима. Ова врста деаератора састоји се из два суда, вертикалне посуде постављене изнад хоризонталне. Вертикална посуда представља дио за деаерацију, а хоризонтална резервоар воде за напајање котла [2].

Вода улази у одјељак за деаерацију кроз млазнице монтиране на водоравну цијев. Током прве фазе деаерације, вода се распршује на fine капљице изнад дијела са подовима. Вода се деаерише у другој фази, јер се каскадно спушта низ отворе у лежиштима. Пара ниског притиска улази у кућиште испод подова и протиче на горе према води. Комбиновано дјеловање прве и друге фазе деаерације гарантује изузетно високе перформансе, јер омогућава дуже вријеме контакта између паре и воде. Пара уклања растворене гасове из напојне воде котла и излази преко вентилационог прикључка на врху посуде (или куполе деаератора) [2,3].

3. УТИЦАЈ ПРЕЛАЗНОГ РЕЖИМА РАДА ДЕАЕРАТОРА НА РАД ПУМПЕ

У типичним парним системима, на усис напојне пумпе котла долази вода из деаератора, подиже се притисак воде и даље се кроз гријаче одводи у котлоу. Током нормалног рада, пара одведена са турбине доводи се у деаератор и загријава напојна вода. Друге сврхе деаератора су да обезбједи потребну нето позитивну усисну висину (NPSH) за пумпу и да служи

као резервоар за складиштење да би се обезбједило континуирано снабдјевање напојном водом током брзих промјена оптерећења.

Доступна нето позитивна усисна висина која се обезбјеђује пумпи током рада може опати услед промјене притиска и изазвати кавитацију и оштећења унутрашњих дијелова пумпе. Пажљивом анализом различитих радних услова може се обезбједити да пумпа ради безбједно током флукуација притиска које се јављају након искључења парне турбине или великих промјена оптерећења.

Проблем кавитације укључује многе термодинамичке и димензионалне факторе. Настаје када услед смањења усисног притиска течност почне да кључа. Мјехурићи паре се формирају, насилно имплодирајући када уђу у област високог притиска пумпе. Ово ствара буку, ерозију, треперење и вибрације. Ако се мјехурићи скупе и формирају парну шупљину, у пумпи се могу догодити велики удари када дође до урушавања шупљина. Акумулирана штета од ових краткотрајних догађаја може на крају довести до катастрофалног квара пумпе.

Постоје двије енергије усисавања које треба узети у обзир. Пумпи је доступна усисна енергија $NPSH_a$, а усисна енергија која је потребна пумпи је $NPSH_r$. Веома је битно направити разлику између ове двије вриједности. Потребна усисна енергија пумпе ($NPSH_r$) увијек мора бити мања од расположиве усисне енергије ($NPSH_a$) у свим радним тачкама [4].

3.1. Прелазне вриједности NPSH напојне пумпе

У типичном систему деаерисања и загријавања напојне воде, деаератор издваја ваздух и заргијава напојну воду директним контактом са паром одведеном из парне турбине. У њему се складишти мјешавина напојне воде у парном и течном стању. Унутрашњи притисак деаератора је једнак притиску паре течности, што представља „засићене услове“. Притисак паре напојне воде је функција температуре. Температура напојне воде и притисак паре у деаератору су исти као и на усису пумпе [4].

Када електрана смањи оптерећење, парна турбина ће смањити количину паре коју преко гријача шаље до деаератора, или ће у потпуности престати да је шаље. Притисак у деаератору ће почети да опада услед губитка притиска паре, кондензације паре и прилива хладнијег кондензата.

Смањење притиска у деаератору узрокује да дио воде почне да испарава док се не постигне засићење на новом притиску. На воду у усисном воду дјелује статички притисак, који зависи од нивоа воде у резервоару, и одлаже почетак испаравања.

Дакле, маса напојне воде у усисној цијеви дјелује као чеп и изољује пумпу од промјена температуре и притиска које се дешавају у деаератору. Ова изолација траје све док цијела количина напојне воде у усисној цијеви не буде имала прилику да прође кроз пумпу и израчунава се дијељењем масе воде у усисној цијеви са масеним протоком пумпе. Кашњење се назива „вријеме задржавања“.

Током проласка топле воде, комбинација високог притиска паре на усису пумпе заједно са смањењем усисног притиска пумпе (због опадања притиска у деаератору) доводи до „критичне тачке“ на којој усисни притисак може пасти испод минималног потребног притиска (притисак паре плус притисак еквивалентан $NPSH_r$). Овај низак усисни притисак може довести до оштећења унутрашњости пумпе од кавитације због недовољне $NPSH$ [4].

3.2. Вријеме задржавања

Вријеме потребно за пролаз топле воде кроз усисни вод пумпе је „вријеме задржавања“. Вријеме задржавања се може изразити као запремина усисног вода подијељена запреминским протоком или као маса течности у усисном воду подијељена са масеним протоком.

С обзиром да је притисак паре на усису пумпе моделиран да опада тек након што истекне вријеме задржавања, критична тачка се јавља на крају временског интервала задржавања. Изазов представља одредити притисак деаератора у овој критичној тачки, а тиме и маргину система $NPSH$ [4].

3.3. Успостављање криве опадања притиска деаератора

Најједноставнији начин да се изрази опадање притиска у деаератору је експоненцијална једначина за енталпију. Одговарајући притисак деаератора у било ком тренутку је притисак засићења при израчунатој енталпији воде:

$$h_d = h_{hc} + (h_1 - h_{hc}) e^{\left(\frac{-W_c}{M}\right)t} \quad (2)$$

Гдје је:

h_d – енталпија воде у деаератору у било ком тренутку, $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$,

h_{hc} – енталпија кондензата, $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$,

h_1 – почетна енталпија воде у деаератору, $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$,

W_c – проток кондензата након прекида паре, $\left[\frac{kg}{min}\right]$

M – маса воде у деаератору, $[kg]$.

Стварни притисак на усису напојне пумпе је једноставно притисак паре израчунат једначином плус статички притисак у деаератору умањен за губитке на трење у усисном цјевоводу напојне пумпе.

Ова једначина прилично добро моделира систем, али не узима у обзир топли кондензат садржан у гријачима ниског притиска и цјевоводу за кондензат [4].

3.4. Примјер прорачуна

Овај примјер илуструје процјену утицаја промјене температуре кондензата на притисак у деаератору и притисак на усису напојне пумпе током времена задржавања.

Познати подаци о деаератору:

Притисак у деаератору у почетном тренутку: 5 bar;

Почетна температура воде у деаератору: 152 °C;

Енталпија воде у деаератору у том тренутку: 640 $\frac{kJ}{kg}$;

Проток кондензата: $206400 \frac{kg}{min}$;
Температура кондензата: $40 - 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
Маса воде у резервоару за складиштење: 7000 kg ;
Вријеме задржавања: $0,5 \text{ min}$;
Статички притисак на усису напојне пумпе: $2,3 \text{ bar}$

На основу једначине (2) и познатих података добијају се резултати везани за промјену притиска у деаератору, а самим тим и на усису напојне пумпе.

Резултати су приказани у наредној табели.

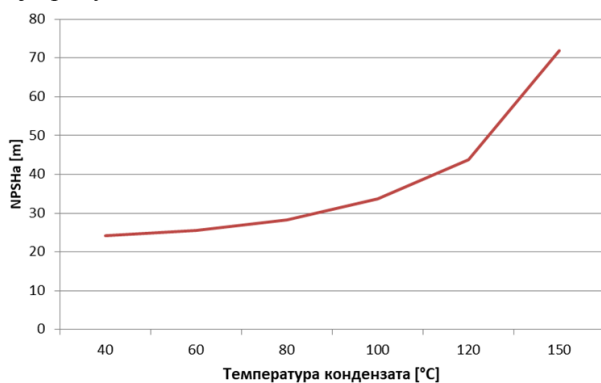
Табела 1: Утицај температуре кондензата на притисак у деаератору и притисак на усису напојне пумпе

$T_{kond.}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$h_{kond.}$ [$\frac{kJ}{kg}$]	$h_{deaer.}$ [$\frac{kJ}{kg}$]	$p_{deaer.}$ [bar]	p_{usis} [bar]
40	167,5	167,5	0,0737	2,3737
60	251,1	251,1	0,1992	2,4992
80	334,9	334,9	0,4736	2,7736
100	419,5	419,5	1,0131	3,3131
120	503,7	503,7	1,9854	4,2854
150	632,2	632,2	4,76	7,06

У овом случају вријеме задржавања је 0,5 минута, што значи да су у том периоду вриједности на усису напојне пумпе непромјењене. Као што је већ поменуто, критична тачка се јавља на крају овог временског интервала. У табели су приказане вриједности притиска на усису у том тренутку.

Како се мијењају параметри система, мијења се и притисак на усисној страни напојне пумпе. Услед промјене оптерећења постројења мијења се температура кондензата који се доводи у деаератор, а она има велики утицај на вриједност усисног притиска.

Ова зависност графички је приказана на следећем дијаграму.



Слика 3: Зависност NPSHa од температуре кондензата

Посебну пажњу при моделирању система, треба посветити анализи ових вриједности при најнижој могућој температури кондензата. Комбинација високог притиска паре на усису и смањеног усисног притиска пумпе доводи до критичне тачке на којој усисни притисак може пасти испод минималног дозвољеног. Уколико дође до овога, очекује се да ће пумпа кавитирати. То значи да је дизајн неадекватан и да га треба ревидирати.

4. ЗАКЉУЧАК

Деаератор је веома сложен елемент система у кругу припреме напојне воде, посебно током прелазних периода, приликом пуштања у рад електрана и искључивања. Коришћењем модела, његово понашање током експлоатације се може пратити и различити кварови се могу избјећи, попут појава корозије и кавитације.

Једна од могућности побољшања наведених експлоатационих проблема је и примјена напреднијих система контроле, који укључују имплементацију експертских система и контроле засноване на сложенијим моделима него што је то случај у конвенционалним постројењима.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://savree.com/en/encyclopedia/deaerator> (приступљено у јануару 2022.)
- [2] <https://watertreatmentbasics.com/how-does-deaerator-work/> (приступљено у јануару 2022.)
- [3] <https://deaerator.com/deaerator-purpose-types-functions/> (приступљено у фебруару 2022.)
- [4] <https://www.powermag.com/can-your-boiler-feed-pump-handle-a-deaerator-pressure-transient/> (приступљено у фебруару 2022.)

Кратка биографија:



Цвијета Илић рођена је 1997. године у Требињу. Мастер рад на Факултету техничких наука, из области Машинства – Термоенергетика одбранила је 2022. год.

Контакт: cvijetalic1@gmail.com

PROJEKTOVANJE UREĐAJA ZA TERMIČKU OBRADU ZUPČANIKA**DESIGN OF DEVICES FOR HEAT TREATMENT OF GEARS**Vladimir Radulaški, Branko Škorić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je objašnjena tehnologija termičke obrade tri tipa zupčanika izrađenih od niskolegiranog čelika Č4320 (EN 16MnCr5) i Č4721 (EN 20CrMo5) čija je proizvodnja velikoserijska. Prema zahtevu, data je analiza i usvajanje procesa cementacije, kaljenja i otpuštanja, i problemi koji se mogu javiti pri radu. Definisan je pogon termičke obrade, kao i spisak potrebnih peći i uređaja. Na kraju, dat je toplotni proračun peći za cementaciju i idejno rešenje pogona.

Ključne reči: Tehnologija termičke obrade, zupčanici, proračun peći za cementaciju

Abstract - This paper explains the technology of heat treatment of three types of gears made of low-alloy steel Č4320 (EN 16MnCr5) and Č4721 (EN 20CrMo5) whose production is large series. Based on the requirements, the analysis and adoption of the process of cementation, hardening and tempering and problems that may occur during operation, are given. The heat treatment plant for these gears has been defined, as well as the list of required furnaces and devices. Finally, a thermal calculation of the cementation furnace and the conceptual design of the heat treatment plant plan are given

Keywords: Heat treatment technology, gears, calculation of cementation furnace.

1. UVOD

Zupčasti prenosnici su mašinski elementi koji spadaju u mehaničke prenosnike, kod kojih se obrtni moment sa jednog vratila na drugo, prenosi posredstvom neposrednog kontakta zuba zupčanika. Zbog prirode opterećenja, zupčanici su prvenstveno izloženi savijanju zuba, a veliki je i površinski pritisak. Ovi uslovi vremenom dovode do oštećenja i otkazivanja rada zupčanika. Zbog toga je neophodno uraditi termičku obradu, koja doprinosi povećanju mehaničkih karakteristika.

2. ANALIZA PROBLEMATIKE TERMIČKE OBRADU ZUPČANIKA

Savijanje zupčanika je najintenzivnije u korenu zuba, pri čemu se bokovi vremenom habaju, što dovodi do stanjivanja zupca, smanjivanja čvrstoće i rasta zazora između njih. Kako zazor vremenom raste, dolazi do promenljivog i povećanja udarnog opterećenja.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Branko Škorić, red. prof.

Na kraju može doći do zamora materijala koji nastaje zbog učestalih savijanja. Na slici 1, prikazan je raspored koncentracije napona kod zuba zupčanika.



Slika 1. Prikaz koncentracije napona u zubu [1]

Ta mesta su u tački bokova zuba, koja je posledica površinskog napona pri dodiru bokova zuba i u korenu koja je posledica savojnog dinamičkog opterećenja. Zbog toga najčešće posledice mogu biti: lom zuba koji je posledica zamora od savijanja, piting (ljuštenje) koje je posledica zamora od kontaktnog opterećenja i habanje površine zbog prisustva klizanja.

3. ANALIZA MATERIJALA I PROIZVODNI PROGRAM

Za izradu zupčanika koriste se žilavi materijali sa velikom tvrdoćom otpornom na habanje. To su najčešće čelici za cementaciju (žilavo jezgro i tvrda površina). U tabeli 1, dat je proizvodni program.

Tabela 1. Proizvodni program

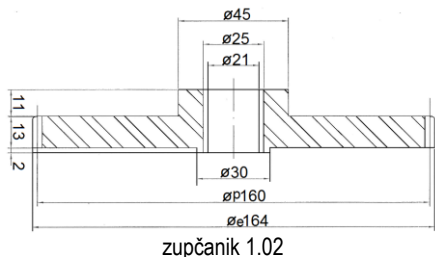
Naziv dela	Materijal	Težina [kg]	Kapacitet [kom/god]
Zupčanik 1.01	Č4320	0,051	900 000
Zupčanik 1.02	Č4320	1,18	90 000
Zupčanik 1.03	Č4721	0,37	300 000

Zahtevi za termičku obradu ovih zupčanika su sledeći: zupčanici 1.01 i 1.03: dubina cementiranog sloja (dc) 0,5 – 0,7 mm i kaljenje na 58 ± 2 HRC; zupčanik 1.02: dc 0,4 – 0,6 mm i kaljenje na 60 ± 2 HRC.

Čelici Č4320 i Č4721 su niskolegirani čelici za cementaciju sa određenim sadržajem C, Si, Mn, Mo, Cr, P i S, koji daju otpornost na povišenim temperaturama, otpornost protiv kiselina, baza i soli, otpornost protiv habanja, visoku žilavost, krtost pri mehaničkoj obradi, nemagnetičnost, visoku tvrdoću u kaljenom stanju i dr.

4. TEHNOLOGIJA TERMIČKE OBRADE ZUPČANIKA

Izgled najvećeg zupčanika iz proizvodnog programa, sa dimenzijama, prikazan je na slici 2.



Slika 2. Izgled zupčanika iz proizvodnog programa

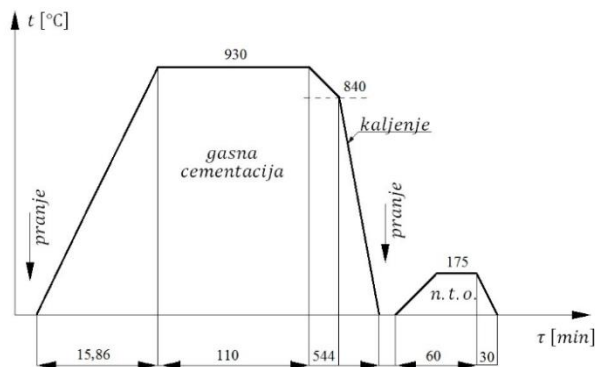
Zupčanci su vrlo malih dimenzija. Tehnologija njihove termičke obrade zahteva cementaciju, kaljenje i niskotemperaturno otpuštanje sa razlikom u vremenima zagrevanja, zadržavanja i hlađenja. Ova vremena data su u tabeli 2.

Tabela 2. Vremena termičke obrade zupčanika u komori za cementaciju

Naziv dela	Vreme zagrevanja [min.]	Vreme zadržavanja [min.]	Vreme hlađenja [min.]
Zupčanic 1.01	11,76	140	522
Zupčanic 1.02	15,86	110	544
Zupčanic 1.03	10,62	160	539

Parametri niskotemperaturnog otpuštanja za sva tri zupčanika su isti (zagrevanje i zadržavanje 1h, hlađenje 30 min.). Temperatura zadržavanja je 175 °C.

Na slici 3, prikazan je grafikon termičke obrade zupčanika 1.02 koji je ujedno i najveći.



Slika 3. Grafikon termičke obrade zupčanika 1.02

Zagrevanje šarže, započinje kada se komora peći za cementaciju zagreje na 930 °C. Ukupno vreme zagrevanja komada je vreme potrebno da se zagreje jezgro. Vreme zadržavanja na temperaturu cementacije se određuje iskustveno na osnovu dijagrama zavisnosti dubine cementacije, vremena cementacije i temperature. Ukupno vreme zagrevanja komada na temperature cementacije je:

$$\tau_{uk} = \frac{F_{oj} \cdot c \cdot \rho \cdot X^2}{\lambda} [\text{min.}], \quad (1)$$

gde su:

- F_{oj} – Furijeov broj koji se dobija na osnovu dijagrama temperaturne funkcije za centar neograničene ploč;
- c – specifična toplota materijala,
- ρ – gustina materijala,
- X – karakteristična dimenzija zupčanika, (najmanja dimenzija u najvećem preseku);
- λ – koeficijent toplotne provodljivosti.

Nakon zadržavanja na temperaturi cementacije, sledi hlađenje šarže na početnu temperaturu kaljenja od 840 °C u komori za cementaciju. Temperaturu usvajamo u zavisnosti od procenta ugljenika iz $F_e - F_{e3}C$ dijagrama. S obzirom na veliku izolaciju peći i prostor komore koji je malo veći od najveće šarže, hlađenje se odvija dosta sporo sa brzinom od oko $10 \frac{^\circ\text{C}}{h}$. Ovi parametri određuju vremena hlađenja šarže od oko 8 h.

U tabeli 3, prikazane su optimalne temperature termičke obrade čelika Č4320 i Č4721

Tabela 3. Optimalne temperature TO Č4320 i Č4721 [2]

Materijal [JUS]	Cementacija [°C]	Obično kaljenje [°C]	Otpuštanje [°C]
Č4320	870-900	810-830	175-200
Č4721	840-870	820-840	140-160

S obzirom da su komadi slične veličine i kako se ne bi čekalo na snižavanje temperature za Č4721, a pri tome zahtevi ostaju zadovoljeni, temperature kaljenja za oba materijala ostaju iste, 840 °C, kao na slici 3.

5. IZBOR I PRORAČUN OPREME ZA POGON TERMIČKE OBRADE

Najvažniji uređaj u pogonu termičke obrade je peć. S obzirom da se radi o termičkoj obradi zupčanika manjih dimenzija koji su izrađeni od čelika za cementaciju, ali sa većim brojem komada u šarži i dužem vremenu hlađenja sa temperature cementacije biće potrebno usvojiti više linija za cementaciju. Linija za cementaciju se sastoji od sledećih uređaja: peć za cementaciju sa kontrolisanom aktivnom atmosferom, peć za niskotemperaturno otpuštanje, gasogenerator za proizvodnju endoatmosfere, uređaj za šaržiranje, uređaj za pranje i sušenje, komandni orman za upravljanje procesom. Za termičku obradu zupčanika, izabrana je Case Master Sealed Quench peć, čija je nosivost tereta 400 kg (slika 4).



Slika 4. Peć za cementaciju i kaljenje Case Master Sealed Quench AFS/AFC 5 [3]

Peć se sastoji iz dve komore namenjene za cementaciju i kaljenje predmetnih delova. Gabaritne dimenzije peći su 2,5 x 3 x 3,5 m. Dimenzije korisnog prostora za smeštaj šarže su 0,61 x 0,61 x 0,91 m. Maksimalna nominalna temperatura je do 1000 °C. Maksimalna snaga zagrevanja, ako se koristi električna struja iznosi 72kW.

Za sva tri tipa zupčanika iz proizvodnog programa, koristi se peć za niskotemperaturno otpuštanje – tip BREN (slika 5). Usvojene gabaritne dimenzije peći su 1 x 2 x 2,5 m.

Dimenzije korisnog prostora za smeštaj šarže su $0,61 \times 0,61 \times 0,91 \text{ m}$. Kod ove peći veoma je bitna cirkulacija atmosfere.

Ona treba da je što bolja kako bi se osigurala uniformnost temperaturnog polja unutar šarže.



Slika 5. Peć za NTO – tip Bren [3]

Gas koji se koristi za process, može da bude prirodan gas ili propan. Radna temperature je 1050°C , a za hlađenje se koristi atmosferski system vodenog hlađenja. Na slici 6 je prikazan generator za proizvodnju endogasa – tip G 60E.



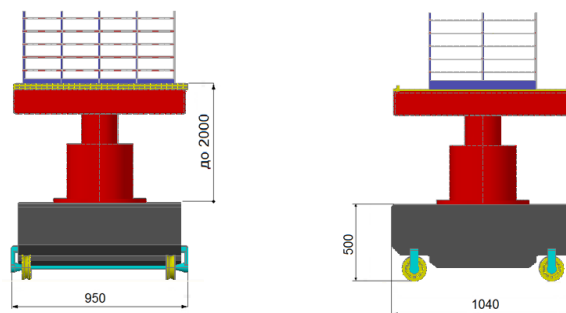
Slika 6. Endogenerator G-60E [4]

Nosač šaržera ima ulogu da obezbedi snabdevanje svih uređaja šaržom u pogonu termičke obrade. Vodi se automatski prema propisanom programu koji se donosi u zavisnosti od potrebnih vremena koje šarža provede na određenom uređaju, tj. od vremena trajanja proizvodnog ciklusa. Sto za šaržiranje i dešaržiranje predstavlja jedan od elemenata koji se nalazi na samom nosaču i ima mogućnost vertikalnog pozicioniranja do 2 m , kao i mogućnost okretanja stola za 360° .

Na stolu nosača se nalaze valjčići koji omogućuju pomeranje šarže ka peći. Za ovaj pogon, projektovan je specijalan nosač šaržera čiji su izgled i gabaritne dimenzije date na slici 7.

Pošto termička obrada spada uglavnom među poslednje postupke u procesu stvaranja nekog proizvoda, deo koji ulazi u pogon je uglavnom zaprljan nečistoćama od prethodne obrade. Stoga, jedan od neizostavnih uređaja u pogonu termičke obrade je uređaj za pranje i sušenje. Pranje i sušenje dela je bitno i pre i posle obrade.

Pre obrade je bitno kako bi se komad očistio i bio spreman za termički proces, naročito kod cementacije gde atomi ugljenika prodiru u komad, tako da je potrebno da komad bude što čistiji, a posle termičke obrade, naročito ako se radi kaljenje u ulju, komad je opet zamašćen, pa je potrebno da se opet očisti i osuši. Iz kataloga SECO WARWICK, usvojen je uređaj za pranje i sušenje sa dve komore. Prikazan je na slici 8.



Slika 7. Nosač šaržera sa šaržom



Slika 8. Uređaj za pranje i sušenje WSD tip [3]

Dimenzije uređaja su usvojene i iznose $1,5 \times 1,5 \times 2,5 \text{ m}$. Pogon termičke obrade radiće u tri smene. Zbog nemogućnosti stopostotnog iskorišćenja uređaja u pogonu, usvojeno je da je stepen iskorišćenja $\eta = 0,8$. Efektivni kapacitet opreme, računa se prema obrascu:

$$K_e = m_e \cdot S_e \cdot n_k \cdot \eta = 309888 \frac{\text{min.}}{\text{god.}} \quad (2)$$

gde su:

$m_e = 269$ – br. radnih dana u godini;

$S_e = 3$ – br. smena u danu;

$n_k = 8$ – br. radnih sati u smeni.

Potreban broj jedinica opreme je:

$$M_i = \frac{T_i}{K_e} \quad (3)$$

Za svaku poziciju, vreme zadržavanja šarže na uređaju T_i se može odrediti iz tehnološke karte proizvoda. Potreban broj šarži na godišnjem nivou sa dimenzijama korisnog prostora od $0,61 \times 0,61 \times 0,91 \text{ m}$, dat je u tabeli 5.

Tabela 5. Potreban broj šarži

Naziv dela	Komada u šarži	Težina šarže [kg]	Broj šarži godišnje
Zupčanik 1.01	560	31,56	1608
Zupčanik 1.02	90	117,2	1000
Zupčanik 1.03	240	97,8	1250

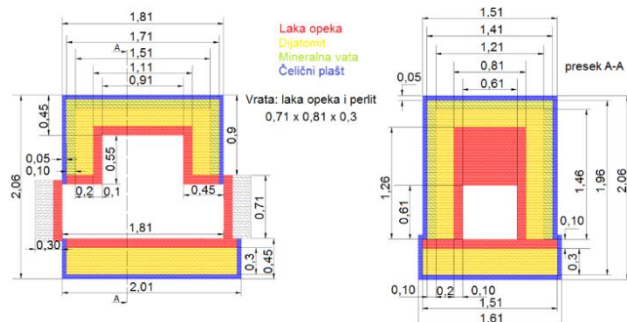
Kompletna operacija prebacivanja šarže iz peći u neki drugi uređaj može obaviti za približno 5 min . Stoga se za svaku šaržu troši ukupno 20 min . u toku celog ciklusa termičke obrade za procese horizontalnog transporta koji se vrši uz pomoć nosača šarže. Iz proračuna se dobija da je potreban jedan nosač šarže, ali sa obzirom na plan pogona i dve transportne šine sa obe strane peći, usvajaju se dva nosača. Ukupni bilans opreme dat je u tabeli 6.

Tabela 6. Bilans potrebne opreme.

Br.	Naziv uređaja	Broj uređaja Izračunat/usvojen
1	Peć za cementaciju	8,52/9
2	Uređaj za pranje i sušenje	0,56/1
3	Peć za niskotemperaturno otpuštanje	0,74/1
4	Uređaj za šaržiranje	0,24/2

6. PRORAČUN TOPLOTNIH GUBITAKA KOMORE ZA CEMENTACIJU I SNAGE PEĆI

Kako bi se mogao izvršiti proračun snage peći potrebne za zagrevanje komada (korisna snaga) i snage peći potrebne za zagrevanje šarže u komori za cementaciju, potrebno je proračunati toplotne gubitke i toplotu akumulisanu u komadima. Mere izolacionih slojeva, dati su na slici 9.



Slika 9. Dimenzije izolacionih slojeva peći

Vatrootporni sloj je od lake opeke debljine 100 mm. Toploizolacioni sloj se sastoji od 200 mm dijamomita i 100 mm mineralne vate. Pod peći je odvojen od bočnih zidova i sastoji se od lake opeke debljine 100 mm i dijamomita debljine 300 mm. Ukupni toplotni gubici u komori za cementaciju, su suma toplotnih gubitaka kroz bočne zidove, plafon, prednji-zadnji zid, pod, ulazna i izlazna vrata komore za cementaciju i kroz vratilo ventilatora, koji služi za ravnomernu cirkulaciju atmosfere. Ukupni toplotni gubitak će tada biti:

$$q_g = k \cdot (2 \cdot q_{g.b.z} + q_{g.p} + 2 \cdot q_{g.p/z} + A) \quad (4)$$

gde je:

$k = 1,2$ – stepen sigurnosti zbog starenja izolacije,

A – suma $q_{g.pod}$, $q_{g.uv}$, $q_{g.iv}$, $q_{g.v}$

U tabeli 7, dati su pojedinačni i ukupni toplotni gubitak.

Tabela 7. Toplotni gubici komore za cementaciju

Toplotni gubici, q_g [W]						
$q_{g.b.z}$	$q_{g.p}$	$q_{g.p/z}$	$q_{g.pod}$	$q_{g.uv}$	$q_{g.iv}$	$q_{g.v}$
915,8	666,7	393,7	1607,7	260,6	247,8	34,8
Ukupno: 6227						

Proračun korisne snage peći je rađen za najtežu šaržu, zupčanika 1.02. Korisna snaga peći je:

$$P_k = \frac{Q_k}{\tau_z + \tau_{drž.}} = \frac{6,73 \cdot 10^7}{(16 + 110) \cdot 60} = 8902,11 \text{ W} \quad (5)$$

gde su:

τ_z ; $\tau_{drž.}$ – vremena zagrevanja i zadržavanja na temperaturu cenantacije, [min.],

Q_k – korisna topota, toplota koju prihvate komadi da bi se zagrejali na 930 °C, [J] koja se dobija iz:

$$Q_{ak.kom} = 90 \cdot G_{kom} \cdot c_{kom} \cdot t_{sr.kom} = 6,73 \cdot 10^7 \text{ J} \quad (6)$$

gde su:

$G_{kom} = 106,2 \text{ kg}$ – masa zupčanika 1.02 u šarži,

$c_{kom} = 693 \text{ [J/kg}^\circ\text{C]}$ – specifična topota komada,

$t_{sr.kom} = 915,03 \text{ }^\circ\text{C}$ – srednja temperatura komada.

Snaga peći potrebna za period zagrevanja je:

$$P_{pe} = \frac{P_k}{\eta_T} = \frac{8902,11}{0,260} = 34,23 \text{ kW}$$

gde je: η_T – stepen toplotne efektivnosti.

Pošto je $34,23 \text{ kW} < 72 \text{ kW}$ (iz kataloga), peć Case Master Sealed Quench **ZADOVOLJAVA**.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu bile su pokazane najvažnije tačke pri projektovanju pogona termičke obrade za izradu zupčanika malih dimenzija od niskolegiranog čelika, koji se izrađuju u velikoj seriji. Pokazano je koji su polazni parametri i zahtevi na osnovu kojih se ušlo u proračun i izbor neophodne opreme. U radu je primećeno veliko vreme hlađenja šarže koje se dobilo zbog veoma velike izolacije peći. Korigovanje odgovarajućih faktora uslovalo bi optimalno rešenje sa smanjenjem troškova uz zadržavanje proizvodnosti. Takođe je moglo i da se usvoji manji broj peći za cementaciju i kaljenje ali sa većim korisnim prostorom za smeštaj šarže. Ovaj izbor od više peći bi mogao fleksibilnije da se ponaša pri promeni programa.

8. LITERATURA

- [1] Đukić, M. [1987] *Projektovanje pogona za termičku obradu zupčanika*, (Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Diplomski rad).
- [2] Dojčinović, M. [1963] *Tablice za metalce* (Beograd, Izdavačko preduzeće "Rad").
- [3] <https://www.secowarwick.com/wp-content/uploads/2017/03/ATM-Case-Master6.pdf>
- [4] <https://www.secowarwick.com/wp-content/uploads/2017/03/ATM-Generator2.pdf>

Kratka biografija



Vladimir Radulaški rođen je u Bečeju 1984.god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu iz oblasti tehnologije termičke obrade odbranio je 2022.god. kontakt: vladimirradulaski984@gmail.com

Dr Branko Škorić, redovni ptofesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, rođen 1955. god. Doktorirao iz oblasti inženjerstva površina i nanotehnologija.

RAD CENTRIFUGALNIH PUMPI SA VISOKOVISKOZNIM I NENJUTNOVSKIM FLUIDIMA**OPERATION OF CENTRIFUGAL PUMPS WITH HIGHLY VISCOUS AND NON-NEWTONIAN FLUIDS**Dejan Vurdelja, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Predmet rada je uticaj viskoviskoznih i nenjutnovskih fluida na rad centrifugalne pumpe. Kroz šest poglavlja date su teorijske osnove njutnovskih i nenjutnovskih fluida, izvršena je klasifikacija pumpi i pobrojane oblasti u kojoj se svaka od pumpi koristi, prikazan način proračuna karakteristika centrifugalne pumpe, prikazan proračun karakteristika centrifugalne pumpe za vodu, maslinovo ulje, 100% glicerol i suspenzije pepela, te je dat kratak komentar dobijenih rezultata.

Ključne reči: Viskoviskozni fluidi, nenjutnovski fluidi, centrifugalne pumpe

Abstract – The subject of the paper is the operation of centrifugal pumps with high-viscosity and non-Newtonian fluids. The paper itself is divided into six chapters whose goal is to bring this topic closer to the reader. Through the chapters is shown theoretical introduction that includes the basic concepts of the fluids, their divisions and characteristics, classifications of pumps used for high-viscosity and non-Newtonian fluids with basic working principles. After introduction the reader is presented with the basic elements that affect the characteristics of the pump and calculation of the pump and pipeline characteristics for a given system working with water, high-viscosity fluids and non-Newtonian fluids as well as the effects of fluids on pipeline characteristics. In the last chapter a reader is presented with a brief conclusion.

Key words: High viscosity fluids, non-Newtonian fluids, centrifugal pumps

1. UVOD

Tema rada je rad centrifugalnih pumpi sa viskoviskoznim i nenjutnovskim fluidima. Centrifugalne pumpe spadaju u turbomašine koje se najčešće koriste u praksi za transport različitih tečnosti. Njihov zadatak je da predaju energiju obrtanja radnog kola fluidu, pri čemu dolazi do povećanja, pre svega, pritiska fluida. U zavisnosti od reoloških karakteristika fluida menjaju se i karakteristike pumpe. Sa druge strane, centrifugalne pumpe po pravilu se ispituju sa vodom. Ako radni fluid nije voda, a posebno ako se viskoznost fluida znatno razlikuje od viskoznosti vode, karakteristike pumpe će u većoj ili manjoj meri odstupati od karakteristika dobijenih za vodu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Slobodan Tašin, docent.

Iz tog razloga neophodno je da se karakteristike pumpe preračunaju za konkretan radni fluid.

U slučaju da je radni fluid njutnovski, postoje upotrebljive metode za relativno pouzdan proračun karakteristika. Ove metode prikazane su u radu. Ukoliko je pak fluid nenjutnovski, do danas nisu razvijene upotrebljive metode za proračun karakteristika centrifugalnih pumpi na osnovu karakteristika koje važe za vodu. U naučnoj literaturi ([1],[5]) preporučuje se korišćenje numeričkih i eksperimentalnih metoda za prevazilaženje ovog problema. Međutim, za uspešnu primenu numeričkih metoda neophodno je poznavanje kompletne geometrije kprotočnih delova pumpe. I pored toga dobijeni rezultati mogu znatno da odstupaju od realnih karakteristika pumpe.

2. TEORIJSKE OSNOVE**2.1 Klasifikacija fluida**

Na osnovu ponašanja fluida pod uticajem smicanja, odnosno tangencijalnog napona, fluidi se mogu podeliti na njutnovske i nenjutnovske flude [1].

2.1 Njutnov zakon viskoznosti

Njutnov zakon viskoznosti glasi: tangencijalni napon proporcijalan je gradijentu brzine u fluidu. Konstanta proporcionalnosti poznata je kao dinamička viskoznost. Njutnov zakon viskoznosti može da se napiše pomoću izraza 2.1 [1]:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.1)$$

gde su:

τ - tangencijalni napon [Pa];

μ - dinamička viskoznost [Pa s];

$\frac{dv}{dy}$ - gradijent brzine [1/s].

Fluidi za koje važi ova jednačina nazivaju se njutnovski fluidi. Fluidi koji se ne povinuju ovoj jednačini nazivaju se nenjutnovski fluidi.

Za njutnovske fluide, grafik tangencijalnog napona u funkciji od brzine deformacije u Dekartovim koordinatama dat je u vidu prave linije sa nagibom jednakim dinamičkoj viskoznosti, dok za nenjutnovske fluide ova zavisnost nije prava linija. Grafici za τ u funkciji od $\dot{\gamma}$ određuju se viskozimetrom. Za različite parove τ i $\dot{\gamma}$, njihov količnik nije isti, pa se kod nenjutnovskih fluida ne može govoriti o viskoznosti. Zato se za nenjutnovske fluide definiše prividna viskoznost μ_a čija promena određuje vrstu fluida [1]:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

gde je: μ_a - prividna viskoznost [Pa s].

U nenjutnovske fuide ubrajaju se: pseudoplastični fluidi, dilatantni fluidi, Bingamova plastika, tiksotropni fluidi, reopektički fluidi i viskoelastični (polimeri) fluidi.

3. ODABIR PUMPI - KLASIFIKACIJA

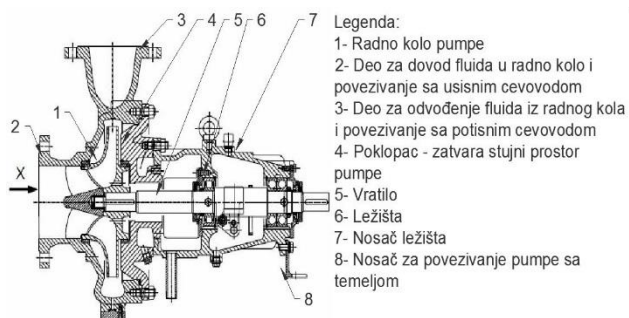
Nenjutnovske karakteristike, naročito viskozitet zavistan od smicanja i napon tečenja, značajno utiču na adekvatan odabir pumpnog agregata i karakteristike istog.

3.1. Odabir pumpi – klasifikacija

Za rad sa nenjutnovskim fluidima kao i viskoviskoznim fluidima koriste se: 1. zapreminske pumpe (zupčaste, rotacione klipne, zavojne i peristaltičke pumpe); 2. vijčane pumpe (ekstruderi) i centrifugalne pumpe. Najveća pažnja posvećena je radu sa centrifugalnim pumpama.

3.2. Centrifugalne pumpe

Centrifugalne pumpe su turbomašine koje se koriste za transport tečnosti podižući pri tome pritisak tečnosti na željeni nivo. Povišenje energije fluida u centrifugalnim pumpama posledica je hidrodinamičkih procesa gde su razlike pritiska i energije proporcionalne kvadratu obimske brzine [2].



Slika 1. Jednostepena centrifugalna pumpa [6]

4. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA CENTRIFUGALNIH PUMPI

Predstavnici performansi centrifugalnih pumpi su napor, snaga i efikasnost

Napor centrifugalne pumpe [3]:

$$H = \frac{P_{II} - P_I}{\rho g} + \frac{v_{II}^2 - v_I^2}{2g} + z_{II} - z_I \quad (4.1)$$

Gде су:

H - napor pumpe [m];

$P_{II,I}$ - pritisak fluida na izlaznom/ulaznom preseku pumpe;

$v_{II,I}$ - srednja brzina fluida u izlaznom/ulaznom preseku iz pumpe;

$z_{II,I}$ - geodetska visina izlaznog/ulaznog preseka pumpe.

Korisna snaga pumpe [3]:

$$P_{ef} = \rho g Q \Delta H \quad (4.2)$$

где су:

P_{ef} - korisna snaga pumpe [W];

ρ - gustina fluida [kg/m³];

Q - protok fluida [m³/h].

Stepen korisnosti pumpe je odnos korisne i potrebne snage [3]:

$$\eta = \frac{P_{ef}}{P} \quad (4.3)$$

5. PRORAČUN KARAKTERISTIKA CENTRIFUGALNE PUMPE

U nastavku je prikazan proračun karakteristika centrifugalne pumpe za zadati sistem (slika 2). Proračun će se vršiti za tri radna fluida, čije su fizičke veličine naznačene u tabeli 1, kao i za dve suspenzije poznatih reoloških svojstava. Cevovod je sačinjen od novih cevi izrađenih od čeličnog lima, nazivnog prečnika DN80, dužine $L=74m$, debljine zida 2,9 mm i relativne hrapavosti 0,05mm. Vrednost lokalnih gubitaka cevnih armatura dat je na tabeli 2.

Tabela 1. Fizičke veličine radnih fluida

	Fluid	Dinamička viskoznost $\eta [Pa s]$	Kinematska viskoznost $\nu [m^2 / s]$	Gustina kg/m ³
1	Voda	10^{-3}	10^{-6}	1000
2	Maslinovo ulje	0,1	$1,0905 \cdot 10^{-4}$	917
3	Glicerol	1,5	$1,189 \cdot 10^{-4}$	1261

Tabela 2. Vrednost lokalnih gubitaka cevnih armatura [4]

	Zaporni element	Vrednost lokalnog gubitka
1.	Zaporni ventil	0,3
2.	Redukcija	0,03
3.	Nepovratna klapna	1,5
4.	Koleno	0,2

Za dati sistem odabrana je pumpa 50K WILFLEY čije su karakteristike za rad sa vodom i suspenzijom pepela dobijene eksperimentalnim putem [5].

Pri radu sa vodom karakteristika cevovoda određuje se pomoću izraza 5.1, uproštenog usled otvorenih rezervoara i zanemarljive brzine u rezervoarima [3].

$$H_P = (z_B - z_A) + \frac{8Q^2}{d^4 \pi g} \left(\lambda \frac{L}{d} + \zeta_{lok} \right) [m] \quad (5.1)$$

Pri radu sa visoko viskoznim fluidom karakteristika cevovoda određuje se pomoću izraza 5.2 [3].

$$H_P = (z_B - z_A) + \frac{8Q^2}{d^4 \pi g} \left(\lambda_z \frac{L}{d} + \frac{\lambda_z}{\lambda_w} \zeta_{lok} \right) [m] \quad (5.2)$$

Kako za rad sa vodom imamo poznatu karakteristiku pumpe, za dobijanje radne tačke neophodno je samo odrediti karakteristiku cevovoda. Za određivanje karakteristike pumpe pri radu sa viskoviskoznim fluidima korišten je KSB metod [4], koji se zasniva na grafičkom određivanju korekcionih faktora protoka, napora i efikasnosti za poznate optimalne karakteristike pri radu pumpe sa vodom. Preračunavanjem se dobijaju 4 tačke na osnovu kojih se mogu grafički predstaviti karakteristične krive rada centrifugalnih pumpi, te je uz proračun karakteristike cevovoda moguće odrediti radnu tačku sistema.

Za određivanje koeficijenta otpora pri strujanju nenjutnovskih fluida (Bingamove plastike) korišten je Govierov model kao i poznate reološke karakteristike suspenzije. Na osnovu modifikovanog Reynoldsovog broja i Govierovih značica određuje se koeficijent otpora pomoću sledećih izraza:

$$Re_B = \frac{\rho v d}{\mu_a} \quad (5.3)$$

gde su:

Re_B - modifikovani Reynoldsov broj;

d - unutrašnji prečnik cevovoda [m];

Nakon određivanja modifikovanog Reynoldsovog broja određuje se bezdimenzionalni broj:

$$N_Y = \frac{\tau_B d}{\nu \mu_a} \quad (5.4)$$

gde su:

N_Y - bezdimenzionalni broj;

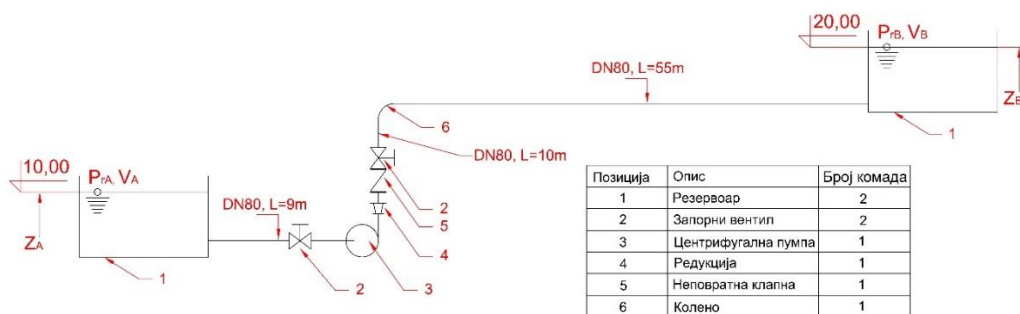
τ_B - prednapon za Bingamovu plastiku [Pa];

Poznavajući bezdimenzionalni broj tabelarno se određuje vrednost druge značice fRe_B , nakon čega se koeficijent otpora određuje putem sledećeg izraza.

$$\lambda = 4 \frac{fRe_B}{Re_B} \quad (4.12)$$

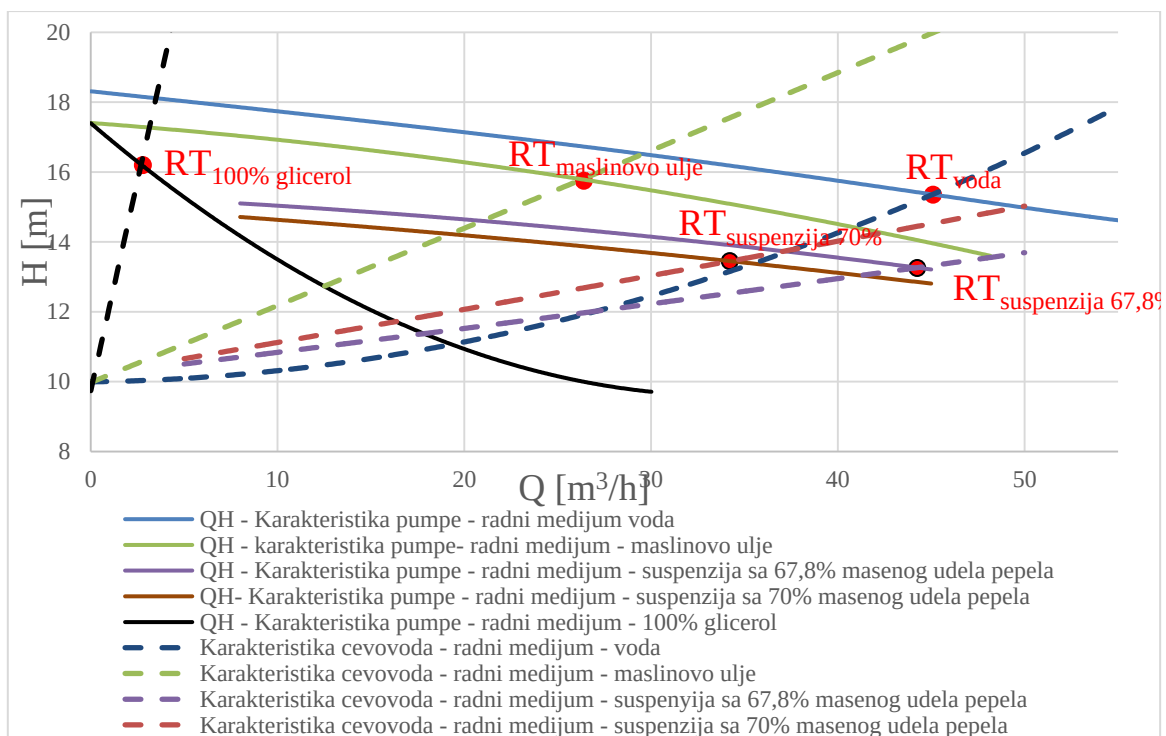
Poznavajući koeficijent otpora, u zavisnosti od protoka, putem izraza 5.1 određuje se karakteristika cevovoda.

Na grafiku1, grafiku 2 i grafiku 3 su prikazani rezultati proračuna

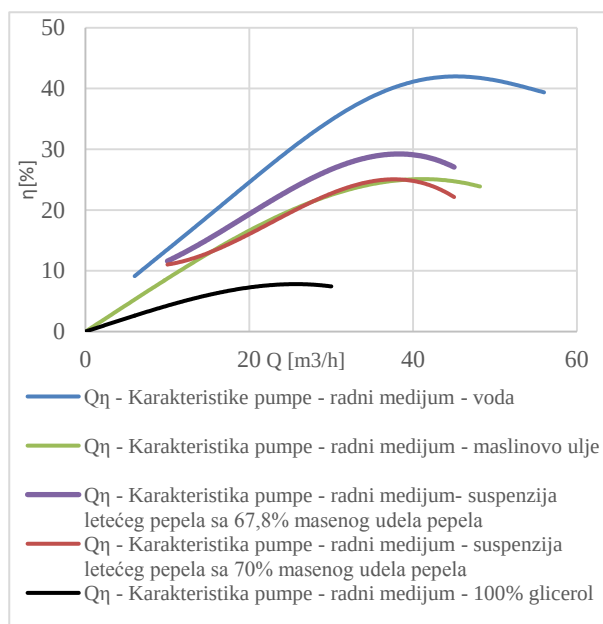


Slika 1. Jednostepena centrifugalna pumpa [6]

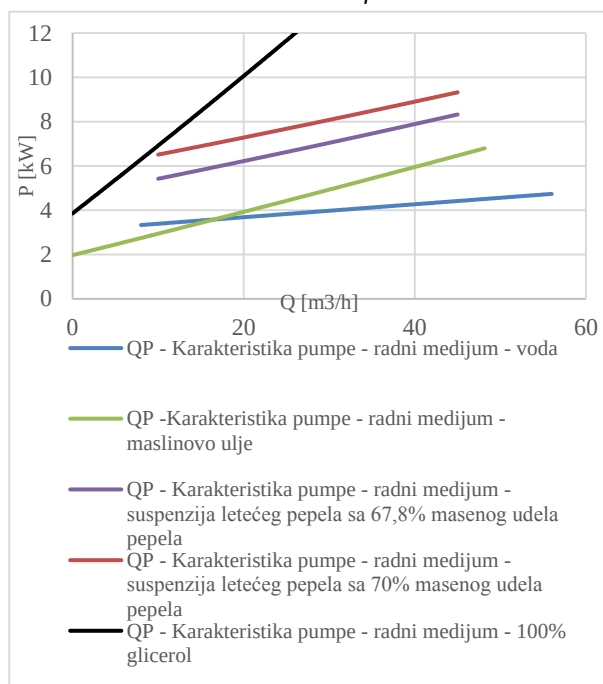
5.1 Rezultati proračuna karakteristika centrifugalne pumpe u datom sistemu



Grafik 1. QH karakteristike centrifugalne pumpe pri radu sa razmatranim fluidima u datom sistemu



Grafik 2. $Q\eta$ karakteristike centrifugalne pumpe pri radu sa razmatranim fluidima



Grafik 3. QP karakteristike centrifugalne pumpe pri radu sa razmatranim fluidima

6. ZAKLJUČAK

Predmet rada bio je prikaz uticaja različitih fluida na rad centrifugalne pumpe.

Prema prikazanim rezultatima pri radu sa vodom kao radnim medijumom, centrifugalna pumpa u zadatom sistemu radi pri maksimalnoj efikasnosti, te ostvaruje optimalne parametre. Zamenom radnog fluida, odnosno proračunavanjem karakteristika pumpe i cevovoda za rad sa maslinovim uljem, čije je vrednost kinematske viskoznosti približno 100 puta veća od kinematske viskoznosti vode, uočavamo da dolazi do degradiranja karakteristika pumpe, smanjuje se efikasnost pumpe i ostvareni napor, dok potrebna snaga pumpe raste.

Daljim povećavanjem vrednosti kinematske viskoznosti, odnosno korišćenjem 100% glicerola, čija je kinematska viskoznost približno 1200 puta veća od kinematske viskoznosti vode, dolazi do drastično značajnijeg degradiranja karakteristika pumpe, efikasnost pumpe je izuzetno niska, smanjen je napor pumpe i povećana potrebna snaga pumpe. Kada se kao redni medijum koristi nenjutnovski fluid, u ovom slučaju Bingamova plastika, takođe dolazi do degradiranja pumpnih karakteristika. Povećanjem koncentracije letećeg pepela u suspenziji dolazi do veće degradacije pumpnih karakteristika. Na osnovu dobijenih radnih tačaka sistema na tabeli 3 prikazani su ostvareni parametri pri radu centrifugalne pumpe u zadatom sistemu sa vodom, maslinovim uljem, 100% glicerolom, suspenzijom letećeg pepela sa 67,8% masenog udela pepela i suspenzijom letećeg pepela sa 70% masenog udela pepela.

Tabela 3. Ostvareni parametri pumpe za različite fluide

Fluid	Protok [m³/h]	Napor [m]	Efikasnost [%]	Snaga [kW]
Voda	45	15.42	1000	4.42
Maslinovo ulje	26.6	15.85	917	4.6
Glicerol	3	16.8	1261	4.8
Suspenzija 67,8% masenog udela pepela	44	13.25	28.35	8.25
Suspenzija 70% masenog udela pepela	34.22	13.45	23.4	8.42

7. LITERATURA

- [1] Bukurov Maša, Bikić S, Tašin S. (2022). „Nenjutnovski fluidi“, Fakultet tehničkih nauka, FTN skripta, Novi Sad.
- [2] Johann Friedrich Gülich (2010). „Centrifugal Pumps“ Second edition, ISBN 978-3-642-12823-3
- [3] Vlatko V. Vuković (1996). „Uvod u hidropneumatsku tehniku“, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu MP „STYLOS“, Novi Sad.
- [4] KSB „Selecting Centrifugal Pumps“ (2005). KSB Aktiengesellschaft, Communications (V5), 67225 Frankenthal / Germany, ISBN 3-00-017841-4
- [5] Sunil Chandel, S.N. Singh and V. Seshadri. (2011) „A comparative study on the performance characteristics of centrifugal and progressive cavity slurry pump with high concentration fly ash slurries“, Department of Mechanical Engineering, DIAT (DU), Pune, India, Taylor & Francis Group, LLC. DOI: 10.1080/02726351.2010.503264

Kratka biografija:



Dejan Vurdelja rođen je 23.08.1996. godine u Sremskoj Mitovici, Republika Srbija. Završio gimn. „Sava Šumanović“ u Šidu i nakon toga diplomirao na Fakultetu Tehničkih Nauka na departmanu za energetiku i procesnu tehniku 2019. godine u Novom Sadu sa temom „Pumpno postrojenje sprinkler sistema“.

**АНАЛИЗА РАЗЛИЧИТИХ МЕТОДА СУШЕЊА ДРВЕТА СА СТАНОВИШТА
КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ****ANALYSIS OF DIFFERENT WOOD DRYING METHODS FROM ENERGY USAGE
POINT OF VIEW**

Вук Маровић, Дамир Ђаковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – ЕНЕРГЕТИКА И ПРОЦЕСНА
ТЕХНИКА**

Кратак садржај – Циљ рада јесте представљање неколико различитих метода сушења дрвета и анализа њихових перформанси на примеру две врсте дрвета (букви и бору). Посебан акценат анализе је на енергетским перформансама уз урађену економску анализу. Упоредно је анализирано сушење обе врсте дрвета у конвенционалној сушири коришћењем три различите врсте горива за погон котла и у сушири са топлотном пумпом, са претходним природним сушењем и без њега. Резултати су показали да методе сушења које имају боље перформансе са енергетског аспекта не морају нужно бити профитабилније.

Кључне речи: сушење дрвета, топлотна пумпа, техно-економска анализа

Abstract – The goal of work is to present several different methods of wood drying and to analyse their performance on the example of two wood species (beech and pine). The emphasis of the analysis is energy aspect of performance, along with economy analysis also done. Comparatively is analysed drying of both wood species using: conventional kiln with 3 different fuel types, heat-pump assisted kiln, with and without natural pre-drying. The results have shown that better energy usage performance of drying does not necessary imply more profitable drying.

Keywords: Wood drying, Heat pump, Techno-economic analysis

1. УВОД

Од самог настанка човечанства, човек користи дрво и производе од дрвета. У почетку дрво је имало примену као огревно гориво и за израду оруђа и оружја. Са напретком човечанства проширивала се и област примене производа од дрвета (грађевинарство, друмска превозна средства, авијација, бродоградња, итд...). Данас се дрво најчешће користи у грађевинарству, индустрији намештаја и као огрев..

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Дамир Ђаковић, ред. проф.

Влага у дрвету дефинише се као влажност по сувој основи, која представља однос масе влаге према маси суве материје, а представља се преко израза:

$$u = w^s = \frac{W}{G_{SM}} = \frac{W}{(W - G)} \left[\frac{kg_{vlage}}{kg_{suve\ materije}} \right] \quad (1)$$

где су:

u – влажност по сувој основи

W – маса влаге у дрвету [kg]

G_{SM} – маса суве материје [kg]

G – укупна маса материјала за сушење.

2. СУШЕЊЕ ДРВЕТА

У дрвету влага може постојати као слободна влага и као везана влага. Променом садржаја слободне влаге се мења укупна маса дрвета, али осим тога нема утицаја на особине дрвета [1].

Везана влага се знатно теже уклања из дрвета јер је са скелетом дрвета везана међумолекуларним силама. Из дрвета се везана влага може уклонити једино испаравањем.

**2.1. Сушење дрвета у атмосферским условима
(природно сушење)**

Као агенс код природног сушења учествује спољашњи ваздух. Када се дрво наслаже у слојаје, поставља се на такав начин да омогући струјање, спољашњег ваздуха кроз слојај, узроковано ветровима који су најчешћи на том подручју, остварујући на тај начин процес сушења. Минимални садржај влаге који је, у највећем броју случајева могуће достићи природним сушењем јесте 20% до 30%, а након тога, уколико је потребан нижи садржај влаге, дрво се прослеђује у суширу на вештачко сушење.



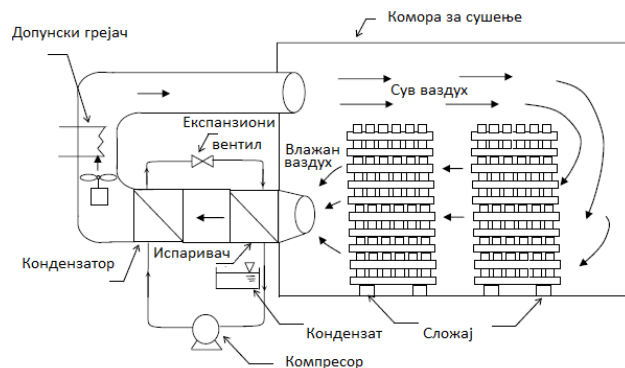
Слика 1. Сушење дрвета у атмосферским условима [2]

2.2. Сушење дрвета у контролисаним условима (вештачко сушење)

Вештачко сушење подразумева сушење у сушарама. Сушаре су затворене просторије у којима је могуће контролисати све релевантне параметре ваздуха за сушење (температуру, релативну влажност и брзину струјања) [1].

Најчешћи тип сушара у употреби су конвенционалне сушаре. У оваквој сушари око слоја и кроз слоја опструјава загрејан ваздух. Ваздух може бити загрејан непосредно (помоћу пећи, електричног грејача), или помоћу цевних грејача кроз које струји вода загрејана у котлу.

Код сушара са топлотном пумпом се, уместо грејача ваздуха путем котла или пећи користи топлотна пумпа за постизање жељених параметара ваздуха. Ваздух (агенс сушења) улази у комору за сушење у којој апсорбује влагу из дрвета. Затим ваздух велике релативне влажности напушта комору и одлази према испаривачу топлотне пумпе. Ваздух на испаривачу се охлади тако да се влага из њега кондензује и одведе као водени ток ван сушаре. На тај начин, латентна топлота коју носи влага у парној фази је искоришћена за кључање и испаравање расхладног средства. Затим улази у кондензатор топлотне пумпе где му се предаје латентна топлота одузета од влаге на испаривачу, односно ваздух се загрева. Након изласка из кондензатора, ваздух је високе температуре и ниског садржаја влаге, спреман за улазак у комору за сушење. Затим се циклус понавља [3]. На слици 2 налази се шематски приказ сушаре са топлотном пумпом.



Слика 2. Шематски приказ сушаре са топлотном пумпом [3]

Показатељ перформанси система за сушење је коефицијент под називом SMER (енг. *Specific Moisture Extraction Rate*), који представља однос одведене влаге према количини енергије уложене у процес, односно:

$$SMER = \frac{\text{Количина издвојене влаге [kg]}}{\text{Уложена енергија у процес [kWh]}} \quad (2)$$

3. ТЕХНОЕКОНОМСКА АНАЛИЗА СУШЕЊА

У раду је поређено сушења сортимената од бора и букве. За сваку врсту дрвета упоредни параметри су: дебелина сортимената (24mm и 50mm) и почетни садржај влаге – први случај, почетни садржај влаге од 64% (сирово дрво), други случај – природно осушено дрво на ваздуху, почетни садржај влаге 25% до 30%. Крајњи садржај влаге у сваком случају износи 10%.

Направљена је упоредна анализа сушења грађе са наведеним параметрима у конвенционалној сушари и то применом неколико различитих врста горива (природни гас, огревно дрво и пелет) и у сушари са топлотном пумпом.

Извршена је анализа сушења у конвенционалној сушари произвођача "Nigos" тип сушаре „VKS-60", а као референтна сушара са топлотном пумпом је одабрана сушара тип „Nigolux-60K2" од истог произвођача.

3.2. Одређивање параметара сушења у конвенционалној сушари

Даске намењене за сушење су димензија: дужине 2 m, ширине 10 cm и дебљине 24 mm. У једну шаржу намењену за сушење стаје укупно 13 144 комада дасака и заузимају укупну запремину од 63,09 m³.

Сушење грађе се одвија у 3 главне фазе и то редоследом: фаза загревања, фаза активног сушења и на крају фаза завршне обраде (изједначавање и кондиционирање).

Користећи израз:

$$Q_z = \zeta \cdot c_d \cdot m_{vd} \cdot (t_{F1} - t_0) = 7\,625\,695 \text{ kJ} \quad (3)$$

може се обрачунати укупна топлотна енергија потребна за фазу загревања, где су:

ζ – коефицијент губитака,

c_d – специфични топлотни капацитет дрвета [kJ/kg],

m_{vd} – маса влажног дрвета [kg],

t_{F1} – температура прве етапе фазе активног сушења [°C],

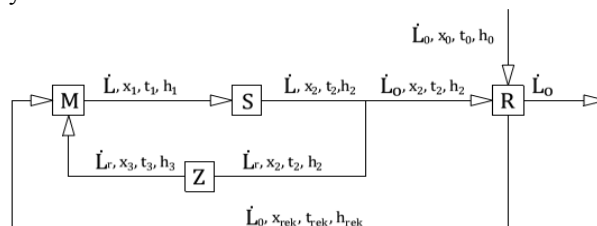
t_0 – температура околине [°C].

За одређивање параметара фазе активног сушења најпре се одређују режими сушења. Режији подразумевају параметре ваздуха као агенса сушења (температуру и релативну влажност), број етапа, и време трајања сваке етапе. Набројани параметри се одређују користећи низ таблица и дијаграма из литературе [4]. У таб.1 приказани су параметри фазе активног сушења.

Табела 1. Режији и трајање активне фазе сушења

Етапа	Разред влаге [%]	Темп. Ваздуха [°C]	Рел. влажност ваздуха [%]	Трајање етапе [h]
1	64 - 40	60	91	105
2	40 - 35	60	86	22
3	35 - 30	60	78	22
4	30 - 25	65	67	21
5	25 - 20	70	51	22
6	20 - 10	80	30	44

На слици 3 налази се шематски приказ фазе активног сушења:



Слика 3. Шематски приказ процеса сушења

Позиција „S” означава комору за сушења, позиција „R” означава рекуператор, позиција „Z” загрејач ваздуха, а позиција „M” место мешања загрејаног рециркулисаног ваздуха и свежег ваздуха предгрејаног у рекуператору. За одређивање укупно искоришћене топлоте у првој етапи користи се израз:

$$\dot{Q}_1 = \tau_1 \cdot \zeta \cdot \dot{L}_r \cdot (h_3 - h_2) [kW] \quad (4)$$

где су:

- τ_1 – трајање етапе [h]
- ζ – коефицијент губитака [-],
- $\dot{L}_r$ – масени проток рециркулисаног ваздуха [kg/s],
- h_3 – специфична енталпија ваздуха на излазу из загрејача [kJ/kg],
- h_2 – специфична енталпија ваздуха на улазу у загрејач [kJ/kg].

Применом претходног рачуна може се одредити искоришћена топлотна енергија у свакој од етапа активног сушења.

Фазе завршне обраде: изједначавања влаге (уједначавање средње влажности свих дасака) и кондиционирања (смањење градијента влажности по пресеку даске) се одвијају без размене ваздуха са околином. Топлотни губици су обрачунати употребом литературе [5] и износе:

$$Q_{iz(kWh)} = 193 kWh \quad (5)$$

за фазу изједначавања влаге и

$$Q_{kond(kWh)} = 179,30 kWh \quad (6)$$

за фазу кондиционирања.

- η_k – степен корисности котла [-],
- E_{el} – искоришћена електрична енергија [kWh].

Маса укупно издвојене влаге из дрвета током процеса сушења се обрачунава по обрасцу:

$$W_{odv} = \left(\frac{u_{poč}}{1 + u_{poč}} \cdot \rho_v + 1 - \frac{u_{poč}}{1 + u_{poč}} \right) \cdot \rho_{sd} \cdot V_{tovara} \cdot \frac{u_{poč} - u_{kr}}{1 + u_{poč}} [kg] \quad (7)$$

где су:

- $u_{poč}$ – влажност дрвета пре сушења [-],
- u_{kr} – крајња задата влажност дрвета [-],
- ρ_v – густина воде [kg/m³],
- ρ_{sd} – густина апсолутно сувог дрвета [kg/m³],

Табела 2. SMER коефицијенти и остварене добити у периоду од 1, 2 и 5 година

Врста и дебљина дрвета, метод сушења и гориво	SMER [kg/kWh]	Остварена добит у првој години пословања [€]	Остварена добит у другој години пословања [€]	Остварена добит у петој години пословања [€]
Бук. 24 mm – конв. суш. - од	0,56	505 660	1 061 792	2 730 190
Бук. 24 mm – конв. суш. - пг	0,69	509 247	1 068 966	2 748 126
Бук. 24 mm – конв. суш. - пл	0,68	495 795	1 042 063	2 680 867

V_{tovara} – запремина грађе [m³].

SMER коефицијент се рачуна по обрасцу:

$$SMER = \frac{W_{odv}}{E_u} \left[\frac{kg}{kWh} \right] \quad (8)$$

3.3. Сушење дасака од буковог дрвета дебљине 24mm у сушари са топлотном пумпом

У питању је исти товар дрвета исте почетне и крајње задате влажности, као и исте запремине. Суши се у сушари тип „NIGOLUX – 60K2” која је сушара комбинованог типа, односно поседује и топлотну пумпу и котао. Котао је неопходан у фази загревања грађе, јер електрични грејач сушаре снаге 18 kW није довољан да у најкраће дозвољеном времену загреје грађу.

Кључна разлика у самом процесу активног сушења је што се оно обавља блажим режимима (пре свега нижом температуром) у односу на сушару са топлотном пумпом. Кључни фактор за одређивање перформанси сушења је кондензациона моћ топлотне пумпе која износи: $Q_{kondenz} = 875 \frac{\text{литара влаге}}{24 \text{ часа}}$ (податак добијен лично из компаније Нигос – произвођача сушаре, односи се и на остале наведене параметре опреме: снагу компресора, цену опреме итд.). Када се укупно одведена количина влаге подели са кондензационом моћи, добија се време активног сушења које у овом случају износи: 19,25 дана. За то време раде компресор топлотне пумпе снаге 10 kW и вентилатор снаге 15 kW.

3.4. Упоредно представљање резултата анализе сушења грађе

У наредне две табеле биће приказани упоредни резултати појединачних перформанси сушења грађе на различите начине. У табелама су коришћене следеће скраћенице: Бук. се односи на дрво букве, конв. суш. се односи на конвенционалну сушару, од се односи на огревно дрво, пг се односи на природни гас, пл се односи на пелет, с.т.п. се односи на сушару са топлотном пумпом, а скраћеница ПО на крају означава да је товар претходно природно осушен.

У табели 2 су упоредни прикази SMER коефицијента и остварене добити у периоду од 1,2 и 5 година, у зависности од наведених фактора..

Наставак табеле 2. *SMER* коефицијенти и остварене добити у периоду од 1, 2 и 5 година

Бук. 24 mm – с.т.п	1,12	276 128	616 356	1 637 039
Бук. 24 mm – конв. суш. – од - ПО	0,51	- 447037	1 379 029	4 381 346
Бук. 24 mm – конв. суш. – пг - ПО	0,63	- 446 514	1 384 997	4 396 265
Бук. 24 mm – конв. суш. – пл - ПО	0,63	- 448 476	1 362 618	4 340 318
Бук. 24 mm – с.т.п. – ПО	0,90	- 315 710	806 355	2 653 965
Бук. 50 mm – конв. суш. – од	0,45	178 059	406 230	1 090 743
Бук. 50 mm – конв. суш. – пг	0,53	179 567	409 247	1 098 284
Бук. 50 mm – конв. суш. – пл	0,53	173 912	397 935	1 070 006
Бук. 50 mm – с.т.п	1,09	245 780	555 660	1 485 299
Бук. 50 mm – конв. суш. – од - ПО	0,43	- 247 887	649 099	2 123 873
Бук. 50 mm – конв. суш. – пг - ПО	0,50	- 247 630	652 032	2 131 205
Бук. 50 mm – конв. суш. – пл - ПО	0,50	-248 594	641 034	2 103 711
Бук. 50 mm – с.т.п. - ПО	0,84	-306 057	739 283	2 437 573
Бор 24 mm – конв. суш. - од	0,63	1 545 744	3 141 960	7 930 610
Бор 24 mm – конв. суш. - пг	0,80	1 550 711	3 151 895	7 955 447
Бор 24 mm – конв. суш. - пл	0,79	1 524 833	3 100 139	7 826 057
Бор 24 mm – с.т.п	1,12	437 629	939 358	2 444 544
Бор 24 mm – конв. суш. – од - ПО	0,66	1 070 749	4 526 534	11 831 717
Бор 24 mm – конв. суш. – пг - ПО	0,83	1 072 410	4 532 253	11 846 012
Бор 24 mm – конв. суш. – пл - ПО	0,82	1 063 759	4 502 464	11 771 540
Бор 24 mm – с.т.п. – ПО	0,90	377 786	1 758 476	4 665 889
Бор 50 mm – конв. суш. – од	0,58	808 290	1 666 693	4 241 900
Бор 50 mm – конв. суш. – пг	0,71	810 981	1 672 074	4 255 354
Бор 50 mm – конв. суш. – пл	0,71	796 964	1 644 039	4 185 266
Бор 50 mm – с.т.п	1,07	407 807	879 715	2 295 437
Бор 50 mm – конв. суш. – од - ПО	0,61	682 744	2 971 436	7 790 891
Бор 50 mm – конв. суш. – пг - ПО	0,74	683 835	2 975 228	7 800 372
Бор 50 mm – конв. суш. – пл - ПО	0,74	678 152	2 955 472	7 750 982
Бор 50 mm – с.т.п - ПО	0,84	328 285	1 573 699	4 191 219

4. ЗАКЉУЧАК

Може се закључити да врста дрвета мало утиче на „SMER” коефицијент, да је код сушара са топлотном пумпом најповољнији, а да претходно природно сушење негативно утиче на „SMER” коефицијент.

Остварена добит у првој години пословања је негативна у случају претходно природно осушене букве. Са друге стране, претходно природно сушење је профитабилније у периоду од 5 година и дуже у односу на сушење исте грађе без претходног природног сушења. Грађа мање дебљине је профитабилнија за сушење из разлога што је краће време сушења. Бор је профитабилнији за сушење у односу на букву из истог разлога.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Томић Б. Сушење дрвета. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства, 1981.
- [2] <https://extension.unh.edu/resource/design-considerations-lumber-pile-covers-air-dry-yards> (приступ остварен 01. 06. 2022.)
- [3] Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying. CRC 2006.
- [4] Колин Б. Хидротермичка обрада дрвета. Београд: Југославијапублик, 2000.
- [5] Рекнагел Х., Шпренгер, Шрамек, Чеперковић З. Грејање и климатизација Врњачка Бања: Интерклима – графика, 2004.

Кратка биографија:



Вук Маровић рођен је у Новом Саду 1987. Мастер рад на Факултету техничких наука из области енергетика и процесна техника – техника сушења одбранио је 2022.

Контакт: vuk.marovic@gmail.com



Дамир Ђаковић рођен је у С. Митровици 1975. Од 2001. запослен на ФТН-у, од 2022. у звању редовног професора. Заинтересован за могућности практичне примене феномена преноса при сушењу, али и у другим областима енергетике и процесне технике, као и проблеме конструисања процесне опреме.

БРЗОРЕЗНИ ЧЕЛИЦИ – ЗАМОРНО ПОНАШАЊЕ И ИСПИТИВАЊЕ ПОВРШИНЕ ЛОМА**HIGH-SPEED STEELS – FATIGUE BEHAVIOR AND FRACTURE SURFACE EXAMINATION**Марко Микулек, Драган Рајновић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО**

Кратак садржај – У раду је теоријски анализирано заморно понашање брзореzних челика и практично испитана површина лoма. Дата је подела, врсте, састав и особине брзореzних челика, и понашање при замору. Извршена је карактеризација материјала 3 резна алата (3 бургије), и испитана њихова површина лoма уз детаљан опис и дискусију добијених резултата.

Кључне речи: Брзореzни челици, Замор, Испитивање површине лoма

Abstract – In the paper a fatigue behavior of high-speed steels is theoretically analyzed, while the fractured surfaces are practically examined. The division, types, composition and characteristics, and fatigue behavior of high-speed steels are described. The experimental characterization of the 3 cutting tools (3 drills) materials was performed. Also, fracture surfaces were examined, supported with a detailed description and discussion of the results obtained.

Key words: High-speed steels, Fatigue, Fracture surface examination

1. УВОД**1.1. Брзореzни челици**

Почетком 20. века установљено је да најбоље резне особине имају челици са високим садржајем волфрама (W) и угљеника (C) пошто се закале са високе температуре и високо температурно отпусте. Они се називају брзореzни челици, HS или HSS (енгл. High Speed Steel). Брзореzни челици представљају најважнији и најчешће примењивани високолегирани алатни челик са већим садржајем легирајућих елемената: хром (Cr), волфрам (W), молибден (Mo), кобалт (Co) и ванадијум (V) [1, 2]. Брзореzни челици, предвиђени су за рад у условима повишене и високе температуре тј. за велике брзине резања.

Најчешће се подела брзореzних челика врши према:

- основним легирајућим елементима
- хемијском саставу
- особинама и примени
- термичкој обради

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Рајновић, ванр. проф.

Брзореzни челици се обавезно термички обрађују како би се извршила промена структуре и добила одговарајућа механичка својства. Термичка обрада брзореzних челика је специфична [3, 4] и се састоји се из каљења и отпуштања.

1.2. Заморно понашање брзореzних челика

Услед дуготрајног дејства периодично променљивих оптерећења може да настане постепено разарање материјала, сама појава назива се **замор материјала**, а тако изазван лом, лом услед замора. Испитивање замарањем у циљу одређивања динамичке чврстоће може се вршити затезањем, притискивањем, савијањем, увијањем или комбиновањем наведених напрезања

Процес замарања се може поделити на три фазе:

- Прва фаза-стварање (иницирање) прслине
- Друга фаза-раст (ширење) прслине
- Трећа фаза-лом

Прва фаза замарања настаје стварањем мале прслине, која под утицајем променљивог напрезања лагано расте. Површина лoма се обично састоји из две зоне које имају сасвим различит изглед. Зона која одговара лаганом расту прслине је по правилу углачана, са видљивим „линијама одмора“, а зона која одговара брзом расту прслине је неправилна и „зрнаста“. Брзина раста прслине зависи од напрезања и дужине прслине.

Експериментална истраживања су показала да су главни могући узроци лoма бургија од брзореzних челика управо:

- замор материјала
- концентрација напона
- заостали унутрашњи напони (који у многоме утичу на стварање и раст прслине)
- материјал израде
- хемијски састав бургије
- микроструктура материјала
- појаве различитих врста укључака (карбида) на самој површини материјала и испод површине
- нехомогене структуре
- неравномерног распореда легирајућих елемената
- врсте оптерећења
- термичка обрада

1.3. Примена брзореzних челика

Брзореzни челици нашли су веома широку примену у разним гранама индустрије захваљујући својим одличним особинама: високој тврдоћи, чврстоћи, жилавости, доброј отпорности према хабању, постојаности на повишеним температурама. Захваљујући овим особинама брзореzни челици се углавном користе за израду различитих алата у свим гранама индустрије, слика 1. Примењују се за израду различитих алата за обраду метала и других материјала, који раде на повишеним температурама тј. са великим брзинама резања [6, 7].



Слика 1. Алати израђени од брзореzних челика [8]

1.4. Циљ рада

Циљ рада је да се практично испитају карактеристике 3 бурије различитих произвођача и од различитих материјала, односно одреди њихов хемијски састав, микроструктура и карактеристике лома. Утврђене вредности су повезане за подацима из праксе о њиховом понашању у експлоатацији.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОЦЕДУРА

У раду су анализиране и испитане површине и узроци лома бурија, одређеног хемијског састава и особина. Бурије су коришћене у свакодневној серијској производњи, при чему је дошло до лома. Испитивање узорка је спроведено у лабораторији за испитивање материјала на Факултету техничких наука у Новом Саду.

2.1 Испитивани узорци

Испитивање је извршено на следећим узорцима бурија (слика 2):

1. Бурија за метал, "Беорол", $\varnothing$ 5mm
2. Бурија "Terarax by Roko", $\varnothing$ 4,5 mm
3. Бурија "Индустрија алата Требиње", $\varnothing$ 5mm



Слика 2. Изглед бурија након лома

Хемијски састав испитиваних узорка бурија одређен је оптичко емисионом спектроскопијом на уређају "SPECTROLAB", у лабораторији Слобада Чачак, а резултати испитивања су приказани у табели 1.

Према хемијском саставу само узорак "Индустрија алата Требиње", одговара класичном брзореzном челику класе HSS 6-5-2-5 односно $\checkmark$ 9780. Док узорци "Беорол", и "Terarax by Roko", припадају класи алатних хромних челика приближно X100CrMoV5, али уз додатак волфрама (W).

Табела 1. Хемијски састав узорка

Хемијски елементи [mass %]	"Беорол"	"Terarax by Roko"	"Индустрија алата Требиње"
C(%)	1,23	1,01	0,97
Si(%)	0,88	0,65	0,12
Mn(%)	0,25	0,34	0,26
P(%)	0,040	0,035	0,020
S(%)	0,020	0,003	0,012
Cr(%)	4,77	5,27	4,54
Mo(%)	0,56	1,20	4,96
Ni(%)	0,20	0,14	0,27
Co(%)	0,05	0,12	4,61
V(%)	0,48	0,50	1,65
W(%)	0,62	1,05	6,15

2.2 Припрема металографских узорка

Узорци за испитивање микроструктуре материјала припремљени су стандардном металографском методом која се састојала од исецања, монтирања, брушења, полирања и нагризања узорка. Исецање је извршено на уређају Diskotom, Struers, након исецања узорци су затопљени топлим поступком у бакелитну смесу на преси Prontopres, Struers. Након припреме узорка извршено је нагризање, како би површина узорка била глатка и видљива на микроскопу.

2.3 Уређаји и опрема за испитивање узорка

Након припреме узорка бурија, извршена је анализа микроструктуре на испитиваним узорцима у полираном и нагриженом стању. Узорке су посматрани при различитим увећањима на светлосном микроскопу (CM) Leitz „Orthoplan“. Након посматрања и анализе испитиваних узорка на светлосном микроскопу, узорци су посматрани на СЕМ микроскопу који је примењиван у испитивању површина лома узорка. Испитивање тврдоће и микротврдоће узорка извршено је методом по Роквелу (HRC) дуж осе бурија по површини на уређају VEB HP-250, и методом по Викерсу на попречном пресеку унутар узорка, на уређају Tukon 1102 Wilson, респективно.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

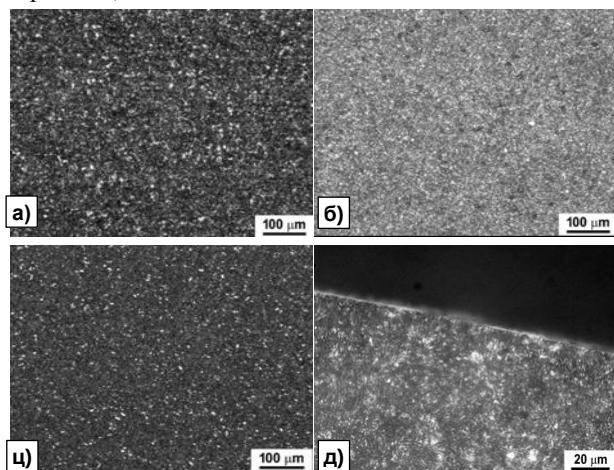
3.1 Испитивање микроструктуре бурија

Микроструктура (након нагризања) бурије произвођача "Беорол" приказана је на слици 3а. Јасно су видљиви крупнији (ледебуритни) карбиди и ситни, сферни (секундарни) карбиди у мартензитној основи. Присуство равномерно распоређених карбида побољ-

шава отпорност на хабање. Микроструктура основе је мартензитна, присутан је ситноигличасти (виде се иглице) отпуштени мартензит са равномерно распоређеним ситнијим и крупнијим карбидима.

На слици 3б приказана је микроструктура бургије произвођача "Terarax by Roko". У узорцима је присутна мања количина неметалних укључака, оксидно глобуларног типа, као и код претходно испитиваног узорка. На нагриженој површини видљиви су крупни (примарни) карбиди и ситни (секундарни) карбиди у феритној основи. (слика 3б). Ситнији карбиди у феритној основи доприносе отпорности на хабање.

Микроструктура бургије произвођача "Индустрија алата Требиње" приказана је на слици 3ц. Присутна је мања количина неметалних укључака, оксидно глобуларног типа, као и код претходних узорка. микроструктура основе садржи крупне (ледебуритне) карбиде и ситне, сферне (секундарне) карбиде у мартензитној основи. Присутан је фини отпуштени мартензит, без иглица.



Слика 3. Микроструктура бургија а) Беорол, б) Terarax by Roko, в) Индустија алата Требиње, д) превлака на површини бургије дебљине око 1 µm

Посматрањем на микроскопу код све три испитиване бургије уочена је танка превлака (слика 3д) на површини дебљине 1-2 µm. На основу расположивих података може се претпоставити да је код узорка "Беорол" и "Индустрија алата Требиње" присутна титан-нитридна превлака, док је код бургије "Terarax by Roko" присутна DLC (diamond like carbon - дијаманту сличан угљеник) превлака, високе тврдоће.

3.2 Резултати мерења тврдоће

Резултати испитивања тврдоће дуж осе узорака по површини и микротврдоће унутар језгра узорака приказани су у табели 2.

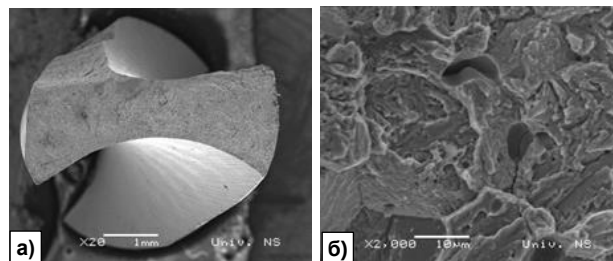
Вредности тврдоће површине се крећу од 55 до 64 HRC, што је за резне алате од брзорезних челика задовољавајуће, али се препоручује да те вредности буду у границама 60-64 HRC након термичке обраде. Варирању измерених тврдоћа површине доприноси и различита превлака на бургијама, као и њена потрошеност. Поред тога, повећање расипања вредности са мерењем HV0.5 и добијања већих вредности долази услед мање површине отиска, при чему може да се измери тврдоћа само једног карбида или мартензитне основе.

Табела 2. Резултати испитивања тврдоће материјала

Тврдоћа материјала	HSS "Беорол"	"Terarax by Roko"	"Индустрија алата Требиње"
Површина (HRC)	51	64	54,5
	54	59,5	56,5
	54	61	58,5
Сред. вред.	53	61,5	56,5
Језгро (HV1)	528	258	730
	557	236	735
	531	255	680
Сред. вред.	539	250	715
Језгро (HV 0.5)	643	520	806
	755	567	797
	672	531	846
Сред. вред.	690	539	816

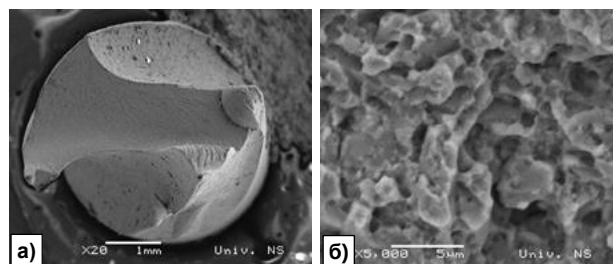
3.3 Испитивање површине лома

На слици 4а је приказан је макро изглед површине лома узорка бургије "Беорол". На месту лома, није уочена појава заморне прслине, што сугерише да је до лома бургије дошло услед преоптерећења тела бургије, да ли услед неправилног руковања, или обраде не одговарајућим режимима обраде. Морфологија површине лома има карактеристике интеркристалног кртог лома (лом по границама зрна) уз местимичну појаву и транскристалног кртог лома насталог механизмом квази-цепања, слика 4б. На површини лома, могуће је уочити и повећано присуство малих сферних рупица.



Слика 4. Изглед површине лома узорка бургије "Беорол", а) макро; б) микро; SEM микроскоп

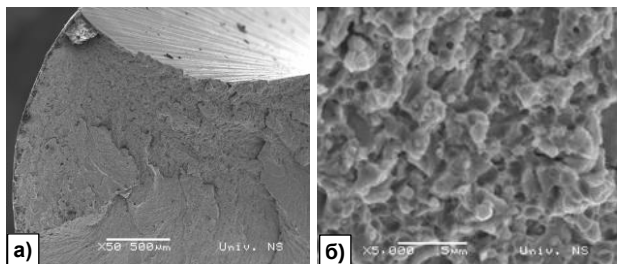
Изглед микроструктуре узорка бургије, при различитим увећањима, произвођача "Terarax by Roko" приказан је на слици 5. Морфологија површине лома има карактеристике транскристалног дуктилног лома, карактеристичног за високоугљенични челик са великом количином ситних секундарних карбида, слика 5б.



Слика 5. Изглед површине лома узорка бургије "Terarax by Roko", а) макро; б) микро; SEM микроскоп

Изглед микроструктуре узорка бургије, при различитим увећањима, произвођача "Индустрија алата Требиње" приказан је на слици 6. Површина лома се у

некој мери разликује у односу на претходне бургије. Централни део има лом који је нормалан на осу бургије, док периферни делови бургије (према леђним површинама) се ломе под углом, слика 6а. Такође, на површини лома се могу уочити зоне са различитим макроскопским карактеристикама лома, тј. уочавају се подручја са различитим изгледом стреластих шара и лезастих површина. Морфологија површине лома има карактеристике транскристалног дуктилног лома. Површина лома је пуна ситних малих јамица насталих минималном пластичном деформацијом око ситних сферних честица секундарних карбида, слика 6б.



Слика 6. Изглед површине лома узорка бургије "Индустрија алата Требиње", а) макро; б) микро; SEM микроскоп

4. ЗАКЉУЧАК

На основу експерименталних истраживања и добијених резултата у оквиру овог рада, могу се извући следећи закључци о понашању 3 бургије различитих произвођача:

- Особине бургија директно зависе од хемијског састава, односа легирајућих елемената, микро-структуре, термичке обраде и нанете превлаке.
- Лом код сва три узорка бургија је узрокован услед преоптерећења тела бургије, да ли услед неправилног руковања, или обраде неодговарајућим режимима обраде. Ни код једне бургије није уочена појава замора
- Изванредна комбинација чврстоће, жилавости и тврдоће бургија "Индустрија алата Требиње", остварена употребом квалитетног брзорезног челика и одговарајуће термичке обраде, а потврђена карактеристикама тврдоће и изгледом површине лома, је допринела да су експлоатационе карактеристике ових бургија у производној пракси најбоље у односу на друге две испитиване бургије.
- Бургија "Terarax by Roko" поседује средње експлоатационе карактеристике, док бургија "Беорол" поседује најлошије експлоатационе карактеристике.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Л. Шиђанин, К. Герић, „Машински материјали“, скрипта, Факултет техничких наука у Новом Саду, 2006/2007.
- [2] Л. Шиђанин, „Машински материјали 2“, Факултет техничких наука у Новом Саду, 1996.
- [3] Б. Шкорић, „Пројектовање погона термичке обраде за израду алата од брзорезног челика“, Нови Сад: Факултет техничких наука, Одсек за производно машинство, 2020.
- [4] М. Оруч, „Алатни челици“, Универзитет у Зеници, Металуршко-технолошки факултет, 2019.
- [5] D.D.D.P. Tjahjana, Y. Waloyo, Triyono, „Failure Analysis of Super Hard and Mil HSS-Co“, *Open Engineering*, Vol. 9/1, pp. 202-210, 2019.
- [6] A.M. Bayer, B.A. Becherer, „High-Speed Tool Steels Machining“, *ASM Handbook*, Vol 16, ASM International, pp. 51-59, 1989
- [7] D.J. Medlin, R. Compton, „Metallography of Biomedical Orthopedic Alloys“, *Metallography and Microstructures*, *ASM Handbook*, Vol 9, ASM International, pp. 961-968, 2004.
- [8] G. Roberts, G. Krauss, R. Kennedy, „Tool Steels“, *ASM International*, pp. 258-265, 2012.

Кратка биографија:



Марко Микук, дип. инж. маш., рођен је у Руми 1987.г. Завршио је средњу техничку школу "Миленко Брзак - Уча" у Руми. Основне академске студије, смер Производно машинство завршио је на Факултету техничких наука у Новом Саду. Завршио је као наставник у средњој техничкој школи „Никола Тесла“ Сремска Митровица. Мастер студије завршава 2022.г.



Др Драган Рајновић, ванр. професор, рођен је 1975.г. у Вуковару. Дипломирао је на Факултету техничких наука 2000.г., на коме је од тада и запослен у настави. У звање ванредног професора изабран је 2020.г. за уно: Материјали и технологије спајања. Специфична област интересовања: микроскопија и испитивање материјала.

ПОРЕЂЕЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА КОМПОНЕНТИ КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА БОКСЕР-2 И V-2 МОТОРА**ANALYSIS OF DIFFERENCES IN LOAD ON PISTON MECHANISM BETWEEN BOXER-2 AND V-2 ENGINES**Никола Црногорац, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област - МАШИНСТВО**

Kratak sadržaj – Тема рада представља упоредна анализа утицаја концепције градње мотора (конструкције) на оптерећења компоненти клипног механизма – летеће и главне рукавце, као и летећа и главна лежишта. Да би се добили резултати потребни за анализу, компоненте клипног механизма измоделоване су коришћењем софтвера за 3D моделовање, одакле су узете димензије и масени параметри. Да би се добило дејство покретачке силе целог механизма (силе притиска гасова) у софтверу за једнодимензиону гасну анализу направљен је модел једног меродавног цилиндра, чији су излазни параметри закони промене притиска у цилиндру током једног радног циклуса. Познавањем геометрије, масених параметара и покретачке силе, извршена је динамичка симулација, чији су резултати заправо тема овог рада – оптерећење рукаваца и лежишта клипног механизма. Након добијања резултата извршена је њихова упоредна анализа. На крају је извршена оцена резултата, наведене су предности и мане рада, као и могућност за даља истраживања.

Кључне речи: Мотор СУС, Мотоцикл, Оптерећење рукаваца, Боксер-2, V-2.

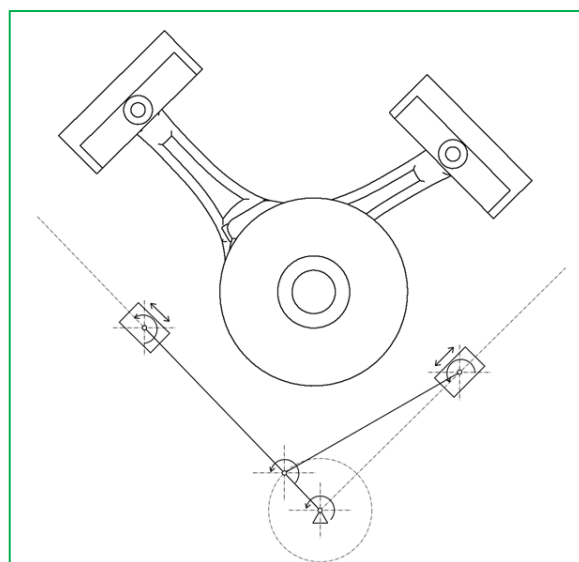
Abstract – Subject of this paper is analysis of load on piston mechanism journal bearings between different types of motorcycle engine build concepts – Boxer-2 and V-2 engines. Firstly, components of piston mechanism are modeled in software for 3D modeling. Result of this are geometrical and mass properties of components. In order to get value of driving force (gas force), model is made using software for one dimensional gas analysis. By knowing these input values, a multi-body dynamic model of piston mechanism is made using software for MBD and its output results in terms of journal bearing forces are aquired. These results are then compared and evaluated. Possibilities for further research and improvement are also stated.

Keywords: Piston engine, Motorcycle, Journal bearing load, Boxer-2, V-2

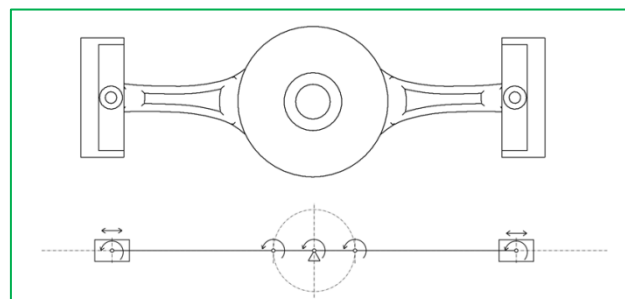
1. УВОД

Прва идеја моторизованог бицикла јавља се још 1867. године, када је Ернест Мишо, син француског

произвођача мотоцикала, дошао на идеју да на очев бицикл угради парни мотор [1]. Пар деценија касније, први мотоцикли добијају основне карактеристике, које се не разликују много од савремених мотоцикала. За разлику од аутомобилских где је код већине возила уграђиван неки тип линијских мотора, код мотоцикала је концепција градње кроз историју веома варијала. Неке од првих концепција градње, које се и даље користе су двоцилиндарски Боксер и V мотори дати на сликама 1.1 и 1.2.



Слика 1.1 Изглед клипног механизма V-2 мотора



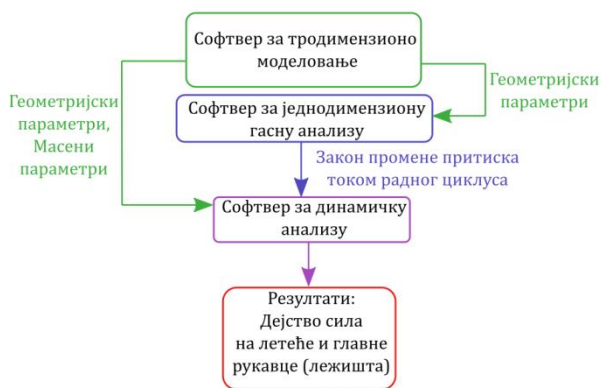
Слика 1.2 изглед клипног механизма Боксер-2 мотора

2. МЕТОД РАДА

На слици 2.1 приказан је поступак добијања резултата односно добијање диаграма дејства силе на летеће и главне рукавце и лежишта Боксер-2 као и V-2 мотора.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада, чији ментор је био др Небојша Николић, ванр. проф.

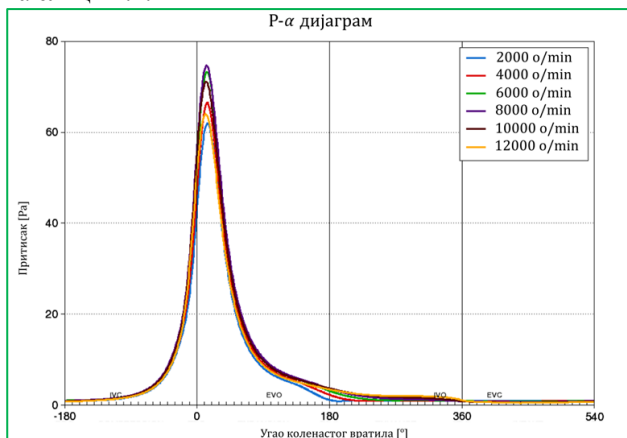


Слика 2.1 Поступак коришћења софтвера

Најпре се извршило моделовање клипног механизма у софтверу за тродимензионо моделовање као што је Autodesk Inventor, Solidworks, Catia, Creo...

За добијање геометрије делова, узети су као узор мотори мотоцикала BMW GS1200R и Ducati Multistrada. Добијена геометрија је заједничка за оба мотора у димензијама клипне групе, осовинице, клипаче, а разликује се једино у облику коленастих вратила, са тим да је узето у обзир да коленаста вратила буду што је више могуће приближних димензија и запремине.

Након моделовања у софтверу за тродимензиону анализу, приступљено је моделовању радног циклуса у софтверу за једнодимензиону гасну анализу као што је Ricardo Wave, AVL Boost, GT Power... Након уношења одговарајућих параметара, добијених тродимензионим моделовањем као и коришћењем параметара добијених експерименталним подацима из других радова са моторима приближних карактеристика, добијају се резултати софтвера за једнодимензиону гасну анализу. Резултат од интереса за наставак рада представља P- α дијаграм, односно дијаграм промене притиска у зависности од положаја коленастог вратила током једног радног циклуса као на слици 2.2.



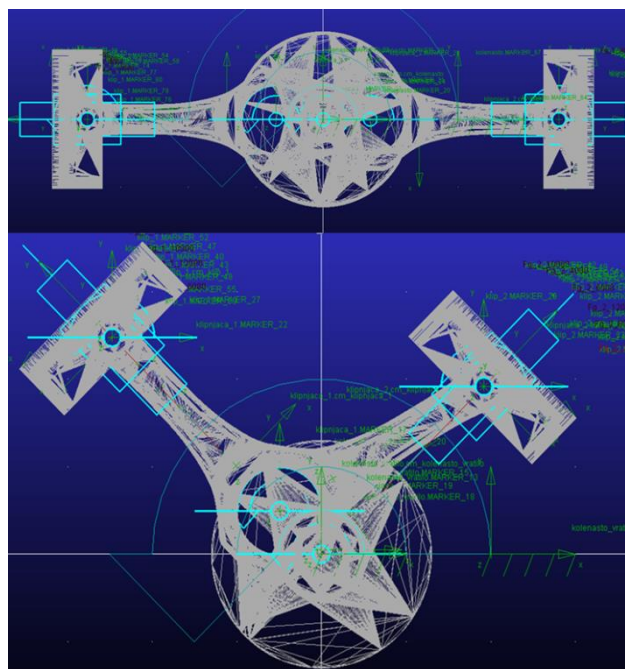
Слика 2.2 P- α дијаграм једног цилиндра за различите брзине обртаја мотора

Анализа је извршена за 6 различитих брзина обртања коленастог вратила, које треба веродостојно да прикажу понашање унутар цилиндра кроз цео

дијапазон могућих брзина обртаја мотора [2]. Ове тачке су на 2000, 4000, 6000, 8000, 10000 и 12000 обртаја коленастог вратила у минути. Ради смањења комплексности рада, у обзир је узето само пуно оптерећење мотора, како тај случај представља најнеповољнији са аспекта оптерећења клипног механизма мотора.

Након добијања притиска, направљен је модел за динамичку симулацију у софтверу за динамичку анализу као што је MSC Adams. У софтвер је пребачена комплетна геометрија саставних делова оба мотора као на слици 2.3. Делови су спојени одговарајућим везама 1. реда (зглоб и клизач) [3]. Сваком делу су задати масени параметри (маса и моменти инерције).

На коленаста вратила задата је брзина обртања за свих 6 случајева и у зависности од брзине обртаја, активирани су одређене силе које делују на чело клипа, са одговарајућим законитостима промене између 1. и 2. цилиндра. Сила која делује на чело клипа је заправо сила притиска гасова, која се добија када се притисак у цилиндру помножи са површином чела клипа.



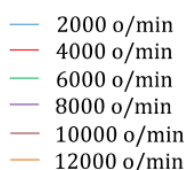
Слика 2.3 Прављење модела у софтверу за динамичку анализу

Након пуштања симулације добијају се вредности сила које делују на рукавце за један одређени број обртаја. Потребно је још 5 симулација са промењеним брзинама обртања и временима трајања истих да би се добиле вредности за цео дијапазон броја обртаја мотора.

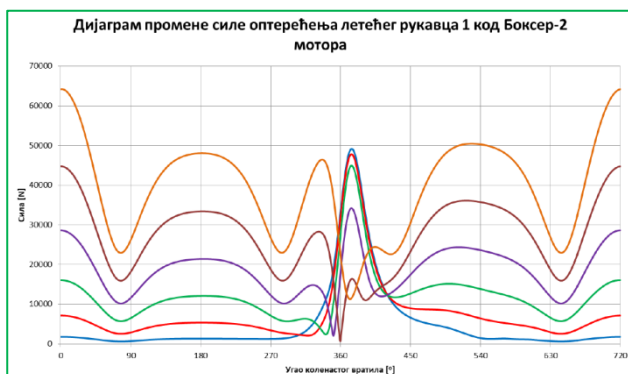
Како се ради о четворотактним моторима, потребно је 720 степени обртања коленастог вратила да би се завршио један радни циклус. Вредност силе уписује се за сваки степен обртања коленастог вратила, тако да за један дијаграм добијамо резолуцију од 720 тачака. Исти поступак се понавља и за другу концепцију мотора.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Посматрањем дијаграма на слици 3.2 може се уочити да при ниским бројевима обртаја мотора, крива оптерећења летећих рукаваца доста подсећа на на криву силе гасова као на слици 2.2, што се објашњава тиме да при малим бројевима обртаја, инерцијалне силе имају мали утицај, па је доминантна сила која делује на систем, сила гасова. Са порастом броја обртаја примети се пораст силе оптерећења летећег рукавца у готово свим сегментима, осим у делу где се јавља процес сагоревања (око 360 степени угла коленастог вратила). Општи пораст може се објаснити порастом инерцијалних сила, док смањење силе у околини 360 степени угла коленастог вратила објашњава се тиме да је смер дејства инерцијалне силе и силе гасова такав да долази до међусобног поништавања сила које делују, односно до смањења укупног дејства на летећи рукавац.



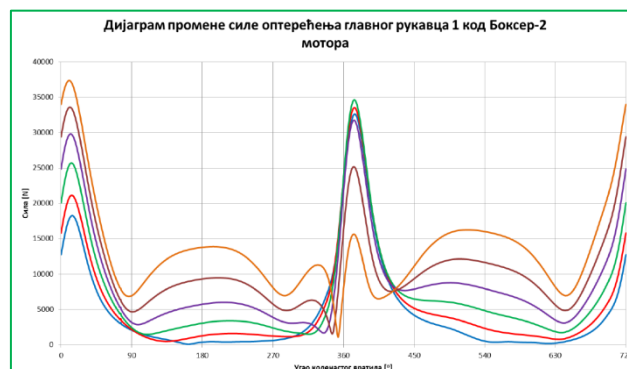
Слика 3.1 Означавање различитих случајева оптерећења у дијаграмима у зависности од брзине обртања мотора



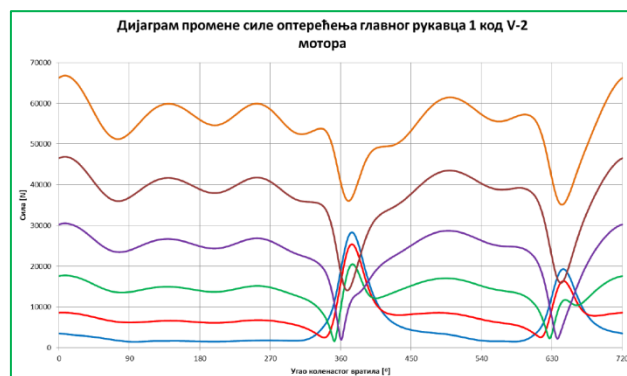
Слика 3.2 Дијаграм оптерећења летећег рукавца 1 код Боксер-2 мотора

Што се тиче дијаграма оптерећења за цилиндар резултати су идентични само фазно померени за одговарајући угао размака паљења између првог и другог цилиндра. Код V-2 мотора уочено је да су дијаграми идентични као код Боксер мотора, што указује на то да једнаке силе делују на летеће рукавце, без обзира на распоред цилиндара унутар мотора. Што се тиче оптерећења главних рукаваца, посматрањем дијаграма оптерећења истих са слика 3.3 и 3.4 може се уочити да при малим брзинама обртања коленастог вратила, оба дијаграма имају изражена 2 врха криве који одговарају углу међупаљења између првог и другог цилиндра, па се уочава да баш као код оптерећења летећих рукаваца, и код главних рукаваца доминантну силу при малим бројевима обртаја мотора представља сила гасова. Са порастом броја обртаја мотора, код оба типа мотора долази до повећања оптерећења које делује на главне

рукавце, са тим што је ово оптерећење многоструко веће код V-2 мотора у односу на Боксер-2 мотор. Одавде се јасно види утицај положаја цилиндара на оптерећење главних рукаваца, а самим тим и на главна лежишта.

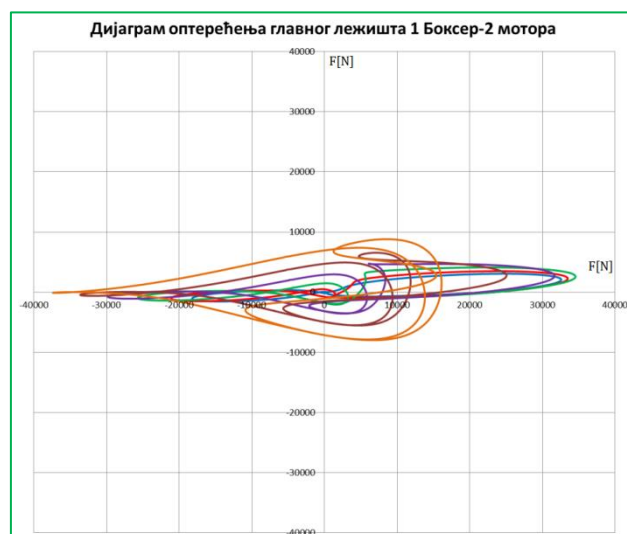


Слика 3.3 Дијаграм оптерећења главног рукавца 1 Боксер-2 мотора

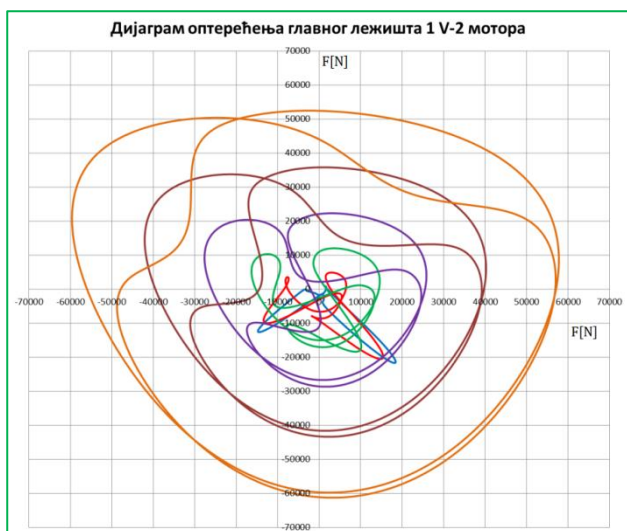


Слика 3.4 Дијаграм оптерећења главног рукавца 1 V-2 мотора

Што се тиче утицаја оптерећења на главна лежишта, дејство оптерећења приказано је на дијаграмима који у поларном координатном систему као на сликама 3.5, 3.6.



Слика 3.5 Дијаграм оптерећења главног лежишта Боксер-2 мотора



Слика 3.6 Дијаграм оптерећења главног лежишта V-2 мотора

Са слика се може уочити значајна разлика у облику, али и у укупном интензитету дејства силе оптерећења на главна лежишта. Примети се дејство силе гасова на малим бројевима обртаја мотора, као и пораст инерцијалних сила са порастом броја обртаја мотора. Код V-2 овај пораст има већи интензитет него код Боксер-2 мотора. Анализирајући случај за мале брзине обртаја мотора, јасно се уочавају осе цилиндара у односу на осу ротације коленастог вратила.

4. ЗАКЉУЧАК

Рад је имао за циљ да иврши упредну анализу различитог типа конструкције двоцилиндричних мотоциклистичких мотора (Боксер-2 и V-2) са аспекта оптерећења главних и летећих рукаваца и лежишта. Како су моделовани процеси као и масени параметри делова који могу да се користе у обе конструкције мотора идентични, рад даје директну слику утцаја положаја цилиндара на поменуто оптерећење. Рад не даје слику оптерећења разматраних компоненти при уравнотеженим коленастим вратилима, каква се срећу код реалних изведби мотора. Уколико би била уравнотежена (као у реалним изведбама) не би био очигледан значај потребе за уравнотежењем једног односно другог типа мотора.

Анализом резултата рад је довео до општих закључака:

- Одабир концепције градње нема велики утицај на оптерећење летећих рукаваца и летећих лежишта.
- Одабир концепције градње има значајан утицај на оптерећење главних рукаваца и главних лежишта.
- Уравнотежење коленастог вратила нема толико велик значај код Боксер-2 мотора, за разлику од V-2 мотора, код кога има велики значај.
- Силе које делују на главне рукавце и главна лежишта су и до неколико пута веће код V-2

мотора у односу на исте силе које делују на компоненте Боксер-2 мотора.

- На малим брзинама обртања коленастог вратила доминантне силе су силе које потичу од тренутног притиска у цилиндру, док на великим брзинама обртања коленастог вратила, доминантну улогу имају инерцијалне силе.

Даља истраживања на тему коју је започео рад треба усмерити ка упоредној анализи мотора али са уравнотеженим коленастим вратилима, где би се видео значај уравнотежења у смислу додате масе, комплексности, експлатационих и инвестиционих карактеристика целог таквог пројекта.

Такође, релативно једноставним изменама параметара у софтверу за једнодимензиону гасну анализу може се извршити утицај промене различитих конструкционих параметара као и оптимизација истих за неке специфичне радне услове

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_motorcycle приступљено у мају 2022.
- [2] R. Gilani, „Engine Simulation Model for a Formula SAE Race Car: Applied Design, Development, Correlation and Optimization,“ LuLea University of Technology, Lulea, 2011.
- [3] М. Чавић, М. Костић / М. Злоколица, Пренос снаге и кретања, Нови Сад: Фалкутет техничких наука, 2014.

Кратка биографија



Никола Црногорац Рођен је у Новом Саду 1994. год. Дипломски рад из области Моторна возила одбранио је 2019. год. на Фалкутету техничких наука.

RAZMATRANJE UTICAJA POČETKA UBRIZGAVANJA GORIVA PRI RAZLIČITIM REŽIMIMA RADA NA NORMALNU SILU KOD DIZEL MOTORA

CONSIDERATION OF THE INFLUENCE OF THE START OF FUEL INJECTION AT DIFFERENT OPERATING MODES ON THE NORMAL FORCE IN DIESEL ENGINES

Denis Stjepanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazan je uticaj početka ubrizgavanja goriva pri različitim režimima rada na normalnu silu kod dizel motora. Kreirana su dva modela motora, od kojih jedan poseduje turbokompresor, na kojima su vršene potrebne simulacije. Rezultati simulacija su kasnije obrađeni, te su pomoću njih vršeni proračuni čiji je glavni cilj bio dobijanje dijagrama normalne sile. Tako dobijeni dijagrami normalne sile su diskutovani i međusobno poređeni za slučaj oba modelovana motora.

Ključne reči: Početak ubrizgavanja goriva, normalna sila, turbokompresor, dizel motor

Abstract – This paper presents consideration of the influence of the start of fuel injection at different operating modes on the normal force in diesel engines. Two engine models, one of which has a turbocharger, were created. Later on, these engines were used for required simulations. Simulation results were later processed and used for calculations, whose main goal was obtaining diagrams of normal force. Obtained diagrams were discussed and mutually compared for the case of both modeled engines.

Keywords: Start of fuel injection, normal force, turbocharger, diesel engine

1. UVOD

Početak ubrizgavanja goriva definiše vremenski trenutak otvaranja brizgača izražen u stepenima obrtanja kolenastog vratila, pre ili posle spoljašnje mrtve tačke. U odnosu na ovaj parametar definiše se i početak procesa sagorevanja, te on tako utiče i na emisiju štetnih gasova, potrošnju goriva i buku pri procesu sagorevanja. S obzirom da vrednost ovog parametra varira u zavisnosti od opterećenja i broja obrtaja, cilj istraživanja je bio da se razmotri njegov uticaj na normalnu silu pri različitim režimima rada.

2. KINEMATIKA I DINAMIKA MOTORNOG MEHANIZMA

Kinematika i dinamika motornog mehanizma proučavaju zakonitosti kretanja i dejstvo sila koje se javljaju pri radu motora, kao i način prenošenja ovih sila preko elemenata mehanizma. Kako bi se proverilo mehaničko naprezanje elemenata motora, izvršilo njihovo dimenzionisanje, rešili dinamički problemi uravnoteženja i ravnomernosti rada,

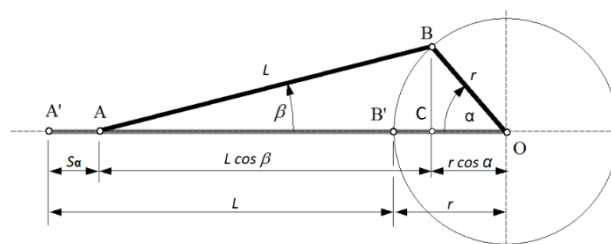
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nebojša Nikolić, vanr. prof.

te proverila opterećenja ležišta, neophodno je izvršiti analizu sila koje se javljaju u klipnom mehanizmu. To znači da se mora razjasniti suština njihovog nastanka, zakon promene u toku radnog ciklusa i način ispoljavanja njihovog dejstva u toku rada motora.

2.1. Kinematika klipnog mehanizma

Klipni motorni mehanizam pretvara pravolinijsko oscilatorno kretanje klipa unutar cilindra u obrtno kretanje kolenastog vratila posredstvom klipnjače, koja vrši balansirajuće kretanje. Kinematika klipnog mehanizma definiše put, brzinu i ubrzanje klipa motora u funkciji ugla obrtanja kolenastog vratila.



Slika 1. Izgled prostog aksijalnog klipnog mehanizma

Pri određenom stacionarnom brzinskom režimu rada motora, može se smatrati da je ugaona brzina kolenastog vratila konstantna, s obzirom da se ona putem zamajca održava u dosta uskim granicama promene. U tom slučaju, ugao kolenastog vratila, čiji je izraz prikazan ispod, je samo funkcija vremena, pa se sve kinematičke veličine mogu izraziti u funkciji ugla kolena kolenastog vratila, odnosno vremena t [1].

$$\alpha = \omega \cdot t = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t = 6 \cdot n \cdot t [^{\circ}KV] \quad (1)$$

Gde je:

α – ugao kolenastog vratila [$^{\circ}KV$]

ω – ugaona brzina [rad/s]

n – broj obrtaja [o/min]

Na slici 1 prikazan je izgled prostog aksijalnog mehanizma, a pomoću slike će se izvesti izrazi za put, brzinu i ubrzanje klipa.

Put klipa s_a koji je on prešao od spoljašnje mrtve tačke određuje se pomoću sledećeg izraza :

$$s_a = r \cdot (1 - \cos \alpha) + \frac{1}{4} \cdot r \cdot \lambda_k (1 - \cos 2\alpha) [m] \quad (2)$$

Brzina klipa v_a dobija se diferenciranjem izraza za put :

$$v_a = r \cdot \omega \cdot \sin \alpha + \frac{r \cdot \omega \cdot \lambda_k}{2} \cdot \sin 2\alpha \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

Ubrzanje klipa a_α dobija se diferenciranjem izraza za brzinu ili dvostrukim diferenciranjem izraza za put :

$$a_\alpha = r \cdot \omega^2 \cdot \cos\alpha + r \cdot \omega^2 \cdot \lambda_k \cdot \cos 2\alpha \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (4)$$

Gde je:

r – poluprečnik kolena

L – dužina klipnjače

λ_k – glavna kinematička karakteristika motora, koja se kreće u granicama $0,22 \div 0,33$ [2]

2.2. Dinamika klipnog mehanizma

Prema suštini nastanka, na klipni mehanizam deluje pet vrsta sila :

- sile pritiska gasova,
- inercijalne sile,
- sile trenja,
- sile teže i
- sile korisnog otpora koji mehanizam savlađuje.

Kod brzohodnih motora se razmatraju samo inercijalne sile i sile pritiska gasova, s obzirom da ostale sile imaju zanemarljive vrednosti u poređenju sa pomenute dve.

2.2.1. Sile pritiska gasova

Sile pritiska gasova potiču od dejstva pritiska u radnom prostoru motora. Pritisak u cilindru deluje ravnomerno po celoj površini radnog prostora, što je i prikazano na slici 2. Delujući na zidove cilindra, pritisak stvara radijalne sile, koje opterećuju cilindar u radijalnom pravcu, delujući na cilindarsku glavu, stvara aksijalnu silu koja teži da odvoji glavu od cilindra i delujući na čelo klipa stvara silu koja realizuje mehanički rad [2]. Ovde će od interesa biti sila koja deluje na čelo klipa, a njena vrednost se računa pomoću sledećeg izraza :

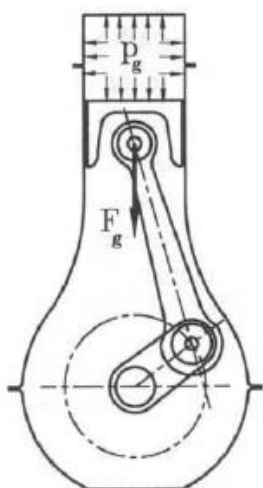
$$F_{g\alpha} = A_k \cdot (p_g - p_k) \quad (5)$$

Gde je :

A_k – površina čela klipa

p_g – pritisak gasa u cilindru

$p_k = p_0$ – pritisak u kućištu motora, odnosno pritisak okoline

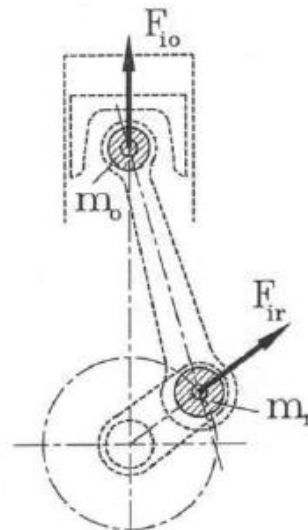


Slika 2. Napadna tačka i pravac dejstva sile pritiska gasova [2]

Sila pritiska gasova je promenljiva i po veličini i smeru dejstva, njena napadna linija je osa cilindra. Po konvenciji ova sila je pozitivna ako je usmerena prema kolenastom vratilu, kao što je to prikazano na slici 2.

2.2.2. Sile inercije pokretnih masa

Inercijalne sile nastaju usled promenljivog kretanja masa klipnog mehanizma. Inercijalna sila je jednaka proizvodu mase i ubrzanja, što znači da je za njen proračun, pored ubrzanja, koje je već definisano u kinematici mehanizma, potrebno poznavati i mase pokretnih delova. S obzirom da pojedini delovi klipnog mehanizma vrše različite vrste kretanja pri radu, tako se i inercijalne sile dele na: inercijalne sile pravolinijski oscilatornih masa i inercijalne sile rotacionih masa.



Slika 3. Redukcija pokretnih masa klipnog mehanizma i dejstvo inercijalnih sila [2]

Mase koje vrše pravolinijski oscilatorno kretanje m_o redukuju se na osu osovinice, a mase koje vrše rotaciono kretanje m_r na osu velike pesnice, kao što je i prikazano na slici 3.

Masa koja vrši pravolinijski oscilatorno kretanje m_o sastoji se od mase klipa m_k , mase klipne grupe m_{kg} , mase osovinice klipa m_{os} , mase klipnih prstenova m_{kp} i mase osigurača osovinice klipa m_{osig} [3].

Sila inercije pravolinijski oscilatornih masa, čiji su smer i napadna tačka prikazani na slici 3, dobija se iz sledećeg izraza :

$$F_{io\alpha} = -m_o \cdot a_\alpha = -m_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos\alpha - m_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda_k \cdot \cos 2\alpha \quad (6)$$

S obzirom da se pravac dejstva sile inercije pravolinijski oscilatornih masa poklapa sa pravcem sile pritiska gasova, njihove vektore moguće je algebarski sabrati kako bi se dobila rezultujuća sila koja deluje na klip u toku rada motora :

$$F_{R\alpha} = F_{g\alpha} + F_{io\alpha} \quad (7)$$

Sila inercije rotacionih masa, čiji su smer i tačka dejstva prikazani na slici 3, određuje se izrazom :

$$F_{ir} = -m_r \cdot a_r = -m_r \cdot r \cdot \omega^2 \quad (8)$$

Gde je :

$m_r = m_{kol} + m_{knjR}$ – mase koje vrše rotaciono kretanje

m_{kol} – mase neuravnoteženog dela kolena

2.2.3. Razlaganje sila klipnog mehanizma

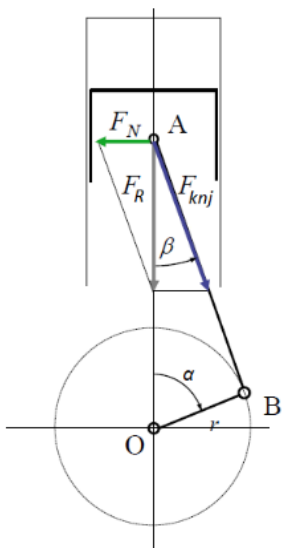
Rezultujuća sila će dalje da se prenosi klipnim mehanizmom kao što je to prikazano na slici 4. Ona se razlaže u osovinici klipa i to na dva moguća pravca dejstva, te tako nastaju njene dve komponente. U pravcu

normalnom na cilindar, nastaje normalna sila F_N , a u pravcu klipnjače nastaje sila klipnjače F_{knj} . To znači da se sada rezultujuća sila predstavlja vektorskim sabiranjem pomenutih sila :

$$\vec{F}_{R\alpha} = \vec{F}_{N\alpha} + \vec{F}_{knj\alpha} \quad (9)$$

Normalna sila je promenljivog intenziteta i smera dejstva. Ona pritiska klip uz zidove cilindra, te tako direktno utiče na povećano habanje u pravcu svog dejstva. Usled ovog habanja cilindar postaje ovalan, pa se efekat zaptivanja klipnih prstenova smanjuje. Pri većem trošenju ovih površina, koje su posredstvom normalne sile u međusobnom kontaktu, može da dođe do bučnijeg rada motora. Normalna sila može da se smanji smanjenjem ugla β putem povećanja dužine klipnjače, te smanjenja glavne kinematske karakteristike motora λ_k . Ova sila predstavlja se sledećim izrazom :

$$F_{N\alpha} = F_{R\alpha} \cdot \tan \beta \quad (10)$$



Slika 4. Razlaganje sile klipnog mehanizma u osovinici klipa

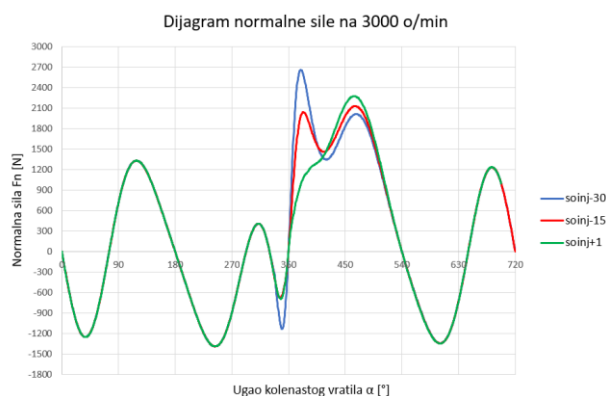
Sila klipnjače i sile koje se kasnije razlažu na rukavcu kolenastog vratila nisu od interesa u ovom radu, s obzirom da je akcenat samog rada postavljen na normalnu silu, tako da o njima neće biti reči u okviru ovog rada.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Uticaj početka ubrizgavanja na normalnu silu pri konstantnom broju obrtaja za slučaj motora bez turbokompresora

U ovom poglavlju, kao što i sam naslov kaže, posmatraće se slučaj promene početka ubrizgavanja pri konstantnom broju obrtaja. To znači da će se svi parametri simulacije na zadatom broju obrtaja držati konstantnim, a variraće se samo početak ubrizgavanja.

Na slici 5 prikazan je dijagram normalne sile na 3000 o/min za tri različite vrednosti početka ubrizgavanja. Početak ubrizgavanja je na dijagramima označen kao *soinj* od eng. *start of injection*.



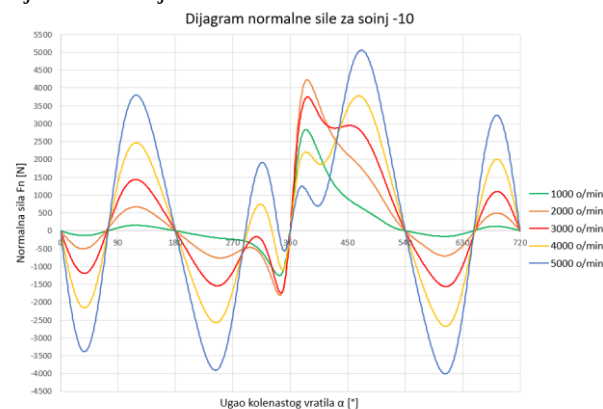
Slika 5. Dijagram normalne sile za različite početke ubrizgavanja na 3000 o/min

Sa slike 5 se može primetiti velika razlika u vrednostima normalne sile malo posle 360 °KV. Ova razlika je posebno primetna za slučajeve *soinj* -30 i *soinj* +1, gde ona iznosi oko 1500 N. Pomenuta razlika u vrednostima normalne sile, nastaje zbog toga što je pritisak u cilindru za početak ubrizgavanja od 30 stepeni pre SMT mnogo veći nego što je to slučaj za početak ubrizgavanja od 1 stepena nakon SMT.

3.2. Uticaj broja obrtaja za nepromenjen početak ubrizgavanja na normalnu silu kod motora sa turbokompresorom

U ovom poglavlju će se prikazati uticaj promene broja obrtaja na normalnu silu pri nepromenjenom početku ubrizgavanja.

Na slici 6 prikazan je dijagram normalne sile za početak ubrizgavanja od 10 stepeni pre SMT pri različitim brojevima obrtaja.



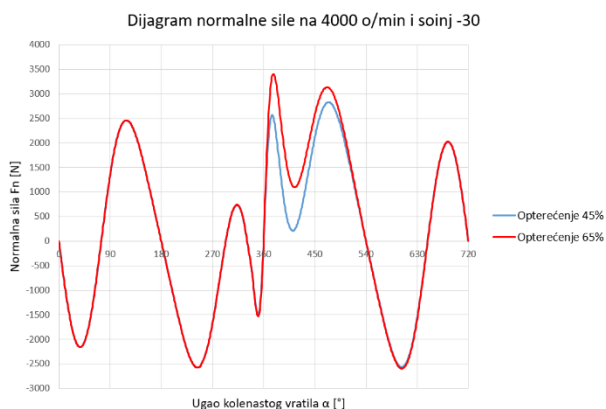
Slika 6. Dijagram normalne sile za *soinj* -10 pri različitim brojevima obrtaja

Sa dijagrama na slici 6 se vidi da normalna sila ima najviše maksimalne vrednosti za brojeve obrtaja iz gornjeg dela opsega, gde se pogotovo ističe kriva na 5000 o/min. Treba primetiti da normalna sila na nižim brojevima obrtaja svoj maksimum dostiže malo posle 360 stepeni, a na višim posle 450 stepeni. Iz toga i proizlazi činjenica da, ubrzo nakon 360 stepeni, kriva na 1000 o/min ima najvišu vrednost normalne sile.

3.3. Uticaj opterećenja pri nepromenjenom početku ubrizgavanja i konstantnom broju obrtaja na normalnu silu kod motora sa turbokompresorom

U ovom poglavlju prikazaće se uticaj opterećenja na normalnu silu klipa pri nepromenjenom početku ubrizgavanja i konstantnom broju obrtaja.

Na slici 7 prikazan je dijagram normalne sile na 4000 o/min i soinj -30 pri opterećenju od 65 % i 45 %. Na slici se vidi da se sa povećanjem opterećenja povećava i normalna sila u taktu širenja, odnosno u području od 360 do 540 °KV.

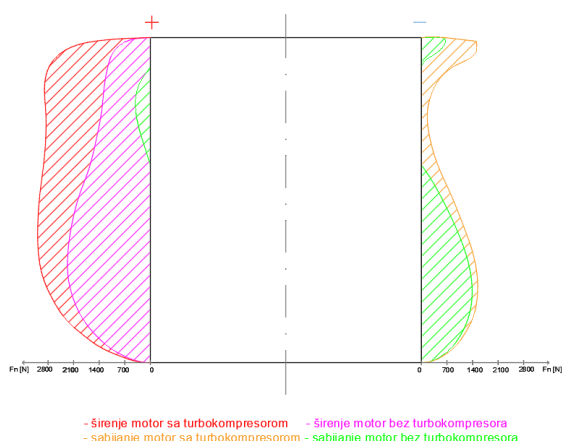


Slika 7. Dijagram normalne sile na 4000 o/min i soinj -30 za različita opterećenja, motor sa turbokompresorom

3.4. Poređenje dijagrama dejstva normalne sile na zidove cilindra kod oba motora

Kako bi se još detaljnije uporedio uticaj normalne sile u motorima sa i bez turbokompresora, na slici 8 prikazan je dijagram dejstva normalne sile na zidove cilindra za taktove širenja i sabijanja kod oba motora.

Dijagram dejstva normalne sile na zidove cilindra



Slika 8. Dijagram dejstva normalne sile na zidove cilindra za slučaj motora bez turbokompresora na 3000 o/min i soinj +1

Na dijagramu sa slike 8 se na prvi pogled primeti velika razlika u vrednosti normalne sile u taktu širenja između motora sa i bez turbokompresora. Očekivano da je njeno dejstvo najveće u taktu širenja, gde normalna sila, konstantno deluje u pozitivnom smeru. U tom delu su sile pritiska gasova toliko visoke da, uprkos negativnom predznaku sila inercije pravolinijskih oscilatornih masa

tokom celog takta širenja, uspevaju da ih nadvladaju. Takođe, kod motora sa turbokompresorom normalna sila ostaje negativna tokom celog takta sabijanja, dok kod motora bez turbokompresora to nije slučaj.

4. ZAKLJUČAK

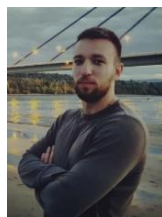
Na samom kraju, iz svega do sada rečenog, moglo bi se izvući nekoliko zaključaka o uticaju početka ubrizgavanja na normalnu silu klipa. Prvo se videlo da, pri konstantnom broju obrtaja, normalna sila ima više vrednosti za početke ubrizgavanja koji su udaljeniji od SMT.

Treba napomenuti da ovo važi i za slučaj motora bez turbokompresora i motora sa njim. Za nepromenjen početak ubrizgavanja kod motora bez turbokompresora, daleko najveće vrednosti normalne sile javljaju se u oblastima najviših brojeva obrtaja, dok je kod motora sa turbokompresorom ta razlika manje izražena. Sledeće, za oba motora vredi činjenica da se, pri nepromenjenom početku ubrizgavanja na konstantnom broju obrtaja, vrednost normalne sile povećava sa povećanjem opterećenja. I na kraju treba reći da je dejstvo normalne sile na zidove cilindra izraženije kod motora sa turbokompresorom, a posebno tokom takta širenja.

5. LITERATURA

- [1] Živković M. : Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, Drugi deo, Mašinski Fakultet, Beograd, 1990.
- [2] Tomić M. i Petrović S. : Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, Četvrto izdanje, Mašinski Fakultet, Beograd, 2008.h
- [3] Mahalec I., Lulić Z., Kozarac D. : Motori s unutrarnjim izgaranjem, FSB Zagreb, 2010.

Kratka biografija:



Denis Stjepanović rođen je u Doboju 1996. god. Osnovne studije iz oblasti Mašinstva završio je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2020. godine, a iste godine upisuje i master studije, smer Automobilsko inženjerstvo.
kontakt: denisstjep123@gmail.com

3D ŠTAMPA DELA ZA NADOGRADNJU INDUSTRIJSKOG ROBOTA U OKVIRIMA INDUSTRIJE 4.0**3D PRINTING OF AN INDUSTRIAL ROBOT UPGRADE PART IN INDUSTRY 4.0 FRAMEWORK**Vladimir Malenov, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Osnovni cilj ovog rada jeste implementacija Industrije 4.0 u tehnologiji 3D štampe na primeru izrade dela za nadogradnju robota. Na osnovu zahteva za traženim proizvodom, navedeni su svi elementi sistema koje koristi 3D štampač. Prikazani su elementi na 3D štampaču koji su omogućili da projektant i operater budu dislocirani od uređaja, a preko kojih vrše kontrolu proizvodnje traženog dela. Kao krajnji rezultat dobijen je proizvod koji zadovoljava sve zahteve, a nastao je upravljanjem 3D štampača bez kontakta sa projektantom.

Ključne reči: Industrija 4.0, 3D štampa, Aditivna proizvodnja

Abstract – The main goal of this paper is the implementation of Industry 4.0 in 3D printing technology on the example of creating a work for upgrading robots. Based on the required product requirements, all elements of the system used by the 3D printer are listed. The elements on the 3D printer are shown, which enabled the designer and the operator to be dislocated from the device, through which they performed control during the production of the required part. The end result is a product that meets all requirements and was created by managing a 3D printer without contact with the designer.

Keywords: Industry 4.0, 3D printing, Additive manufacturing

1. UVOD

Pravovremena digitalizacija poslovnih funkcija firme i procesa u različitim privrednim delatnostima utiče na to da se odluke donose brzo i da se na strateški način sagledaju mogućnosti inovativnih rešenja u cilju blagovremenog donošenja ispravnih odluka u poslovanju. Implementacija digitalnih rešenja u poslovanju utiče na revaluaciju konkurentne pozicije kompanije. Prvi put Industrija 4.0 pojavljuje se 2011. godine, a zvanično se u upotrebu uvodi 2013. godine od strane Nemačke Akademije Nauka i Inženjerstva u radu "Industry 4.0 Manifesto".

Tranzicija sa postojećih informativnih rešenja na nova. Pametna rešenja predstavljaju radikalnu promenu u pogledu industrijskog razumevanja poslovanja.

NAPOMENA:

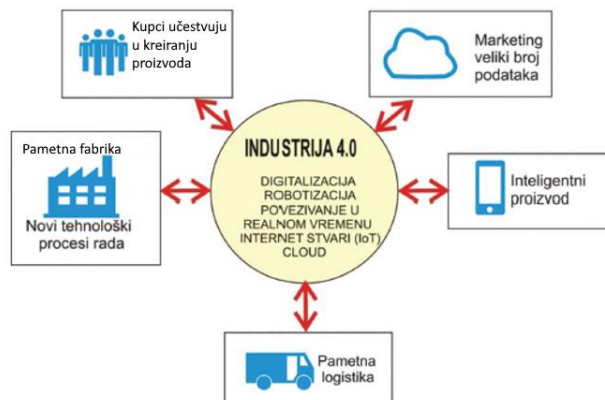
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mijodrag Milošević, vanr. prof.

Koncepcija ovog rada je usmerena ka cilju da se predstave prednosti i objasni pojam industrije 4.0, a zatim i prikaže mogućnost implementacije na primeru izrade modela upotrebom 3D štampe od same porudžbine do gotovog proizvoda.

2. ČETVRTA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA

Industrija 4.0 podrazumeva digitalizaciju i umrežavanje svih funkcija unutar fabrike i izvan nje, gde u proizvodnim procesima rade roboti umesto ljudi. To je stvaranje pametne fabrike (smart factory) koja koristi informacione tehnologije za upravljanje proizvodnjom i poslovnim procesima koji su dati na slici 1.

Osnovni cilj jeste postići dominaciju na tržištu ostvarivanjem poboljšanog kvaliteta, nižih troškova i fleksibilnije proizvodnje



Slika 1. Koncept industrije 4.0 kao doprinosi pojeftinjenju personalizovanih proizvoda.

2.1. Koncept industrije 4.0

Koncepcija koja obuhvata digitalizaciju, robotizaciju, vertikalnu i horizontalnu komunikaciju, kibernetičko-fizičke sisteme, proširenu stvarnost i internet stvari, stvorice potpuno novi proizvodni sistemi. Takvi sistemi će moći da odgovore zahteve personalizovanih proizvoda po želji kupca a da pritom imaju nižu cenu. Proizvodi u cilju praćenja, nadzora pravilnog rada i servisiranja imaju stalnu vezu sa isporučiocem. Iako je jedan od većih prigovora na koncept Industrije 4.0 dehumanizacija, to je delimično tačno jer će takav pristup doneti velike promene u zapošljavanju, ali i promene potrebnog znanja zaposlenog koji će nastaviti da radi. To se dešavalo kod

svih industrijskih revolucija, a to pokazuje da su se nakon toga otvarala nova radna mesta koja zahtevaju nova znanja za potrebe proizvodnje. Tako se može očekivati i u ovom slučaju a predviđa se da će se povećati potreba za novim kreativnim poslovima za nova zanimanja koja sada još možda ne postoje.

2.3. Tehnologije koje transformišu industrijsku proizvodnju

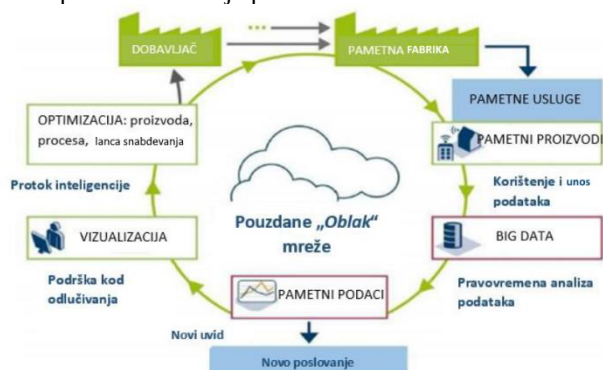
U nastavku ovog dela objašnjena je svaka tehnologija koja prati razvoj Industrije 4.0:

Internet stvari: sve više objekata koji nas okružuju imaju internet vezu tako da će biti povezani međusobno kao i sa korisnicima IoT aplikacije zahtevaju prilagođavanje klasične industrije kako bi tehnologija stvorila prilike za nastajanje novih industrija i pružanje obogaćenih i novih korisničkih iskustava i usluga

Računarstvo u oblaku: predstavlja deo informacione tehnologije (IT), model koji omogućava pristup deljenim bazama resursa, kao što su računarske mreže, unos i obradu podataka, umrežavanje aplikacija i usluga. Računarstvo u oblaku omogućava korisnicima i preduzećima sa različitim računarskim mogućnostima navedene mogućnosti.

Veliki podaci: praktična vrednost svih velikih setova podataka je primena analitike nad podacima u cilju dobijanja željenih rezultata. Veliki podaci predstavljaju bitan deo Industrije 4.0. jer sistemi i mašine u proizvodnom procesu generišu velike setove podataka tokom svog višegodišnjeg rada.

Pametna fabrika: označava fleksibilan sistem koji može samostalno izvršiti optimizaciju performansi preko šire mreže, prilagoditi se i učiti iz novih potreba u realnom ili približno realnom vremenu te samostalno upravljati celokupnim procesima proizvodnje. Na slici 2 je prikazan koncept funkcionisanja pametne fabrike.



Slika 2. Koncept pametne fabrike.

3. ADITIVNA PROIZVODNJA

Kompanije ulažu u ovu tehnologiju kako bi poboljšale svoj kvalitet proizvoda i održale korak sa revolucijom Industrije 4.0. Evolucija kod 3D tehnologija bila je od vitalnog značaja za izradu prototipova [1]. Proizvođači se sada mogu osloniti na napredni softver za proizvodnju složenih trodimenzionalnih objekata pre nego što pređu u fazu masovne proizvodnje. Pre ove tehnologije, izrađivali su se kalupi čija izrada je bila složena i nije tako brzo mogla da izrađuje prototipove u meri kojoj danas to čini tehnologije 3D štampe.

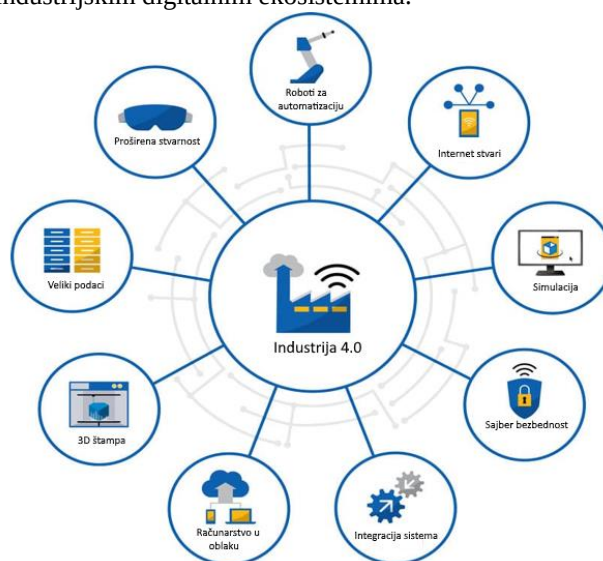
3.1. Aditivna proizvodnja u Industriji 4.0

Prototip i testiranje proizvoda nalazi se u ranim fazama razvoja u Industriji 4.0. sa 23% prototipova koji su proizvedeni 3D štampom. Integracija 3D štampe omogućava kompanijama da razviju interakcije koje omogućavaju fleksibilnost, prilagodljivost i poboljšanu izvedbu krajnjih proizvoda

3.2. Mogućnosti 3D štampe u okviru Industrije 4.0

U srcu Industrije 4.0 nalazi se digitalna transformacija a na slici 3 su komponente koje je čine a jedna od njih je i 3D štampa.

U procesu transformacije, uspešna industrijska preduzeća će postati prava digitalna preduzeća sa fizičkim proizvodima, proširenim digitalnim interfejsima i inovativnim uslugama zasnovanim na podacima. Ova digitalna preduzeća će raditi zajedno sa kupcima i dobavljačima u industrijskim digitalnim ekosistemima.



Slika 3. Komponente Industrije 4.0.

4. TEHNOLOGIJA 3D ŠTAMPE I MOGUĆNOSTI NJENE PRIMENE U PROIZVODNJI

Za razliku od tradicionalnih metoda proizvodnje, aditivna proizvodnja predstavlja tehnologiju koja omogućava proizvodnju delova iz slojeva [2]. Za proizvodnju je potreban 3D CAD model dela koji se proizvodi i 3D štampač za aditivnu proizvodnju. 3D CAD model se podeli na slojeve koji predstavljaju površine na koje će biti nanet materijal. Debljina sloja zavisi od parametara procesa i tipa materijala. Kompletan proces formiranja sloja se odvija u jednoj ravni.

4.1 Značaj aditivne proizvodnje za kompanije

Savremene proizvodne kompanije koje žele da unaprede svoju konkurentnost na tržištu prisiljene su da unapređuju postojeće procese kao i da uvode savremene tehnologije u proizvodnju kako bi bili konkurentni pa je potreba za novim pristupima razvoja proizvoda velika. Svaki proizvod koji kompanija ponudi je rezultat poslovnih aktivnosti koje su temelj opstanka kompanije a on mora zadovoljiti ekonomske aspekte, savremene pristupe, dostupnost i mogućnost prilagođavanja tržišnim uslovima. Proces razvoja i redizajna proizvoda, kao jedna

od fundamentalnih poslovnih aktivnosti svake proizvodne kompanije, predstavlja veoma skupu aktivnost koja ponekad uprkos ulozenom trudu i sredstvima ne rezultuje zeljenim ishodom.

5. PROCES IZRADE DELA ZA NADOGRADNJU ROBOTA ADITIVNOM METODOM

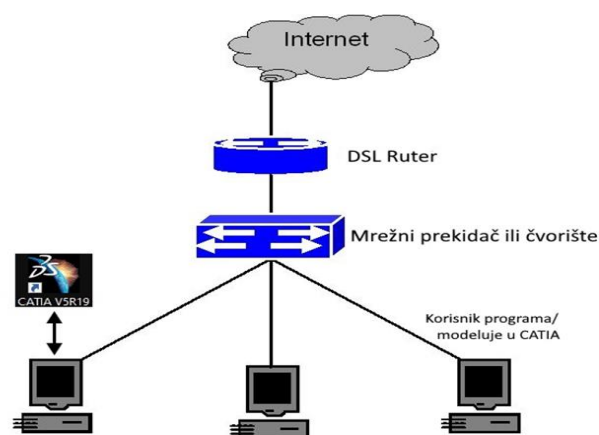
Kao u svim proizvodnim delatnostima, izrada kreće od naručioca a zatim po redosledu faze koje su prethodile pre samog procesa štampanja dela za nadogradnju robota. Prvi korak je prikupljanje tehničke dokumentacije, zatim projektovanje proizvoda u programu CATIA, generisanje G koda, priprema i štampa posredstvom 3D štampača. U ovom poglavlju je detaljno predstavljen proces pripreme i proizvodnje traženog dela implementacijom Industrije 4.0 u 3D štampi.

5.1 Projektovanje dela za nadogradnju robota primenom oblak tehnologija

Oblak tehnologija ima umrežene računare koji čine jednu virtuelnu celinu gde su svim konektovanim učesnicima u projektovanju proizvoda dostupni alati koji su zajednički. Na slici 4 prikazan koncept korišćenja računarskog oblaka pri izradi zupčanika u programskom sistemu CATIA koji se nalazi na udaljenom računaru.

Da bi se primenila ova koncepcija neophodni su sledeći resursi: veza sa internetom, DLS ruter, mrežna

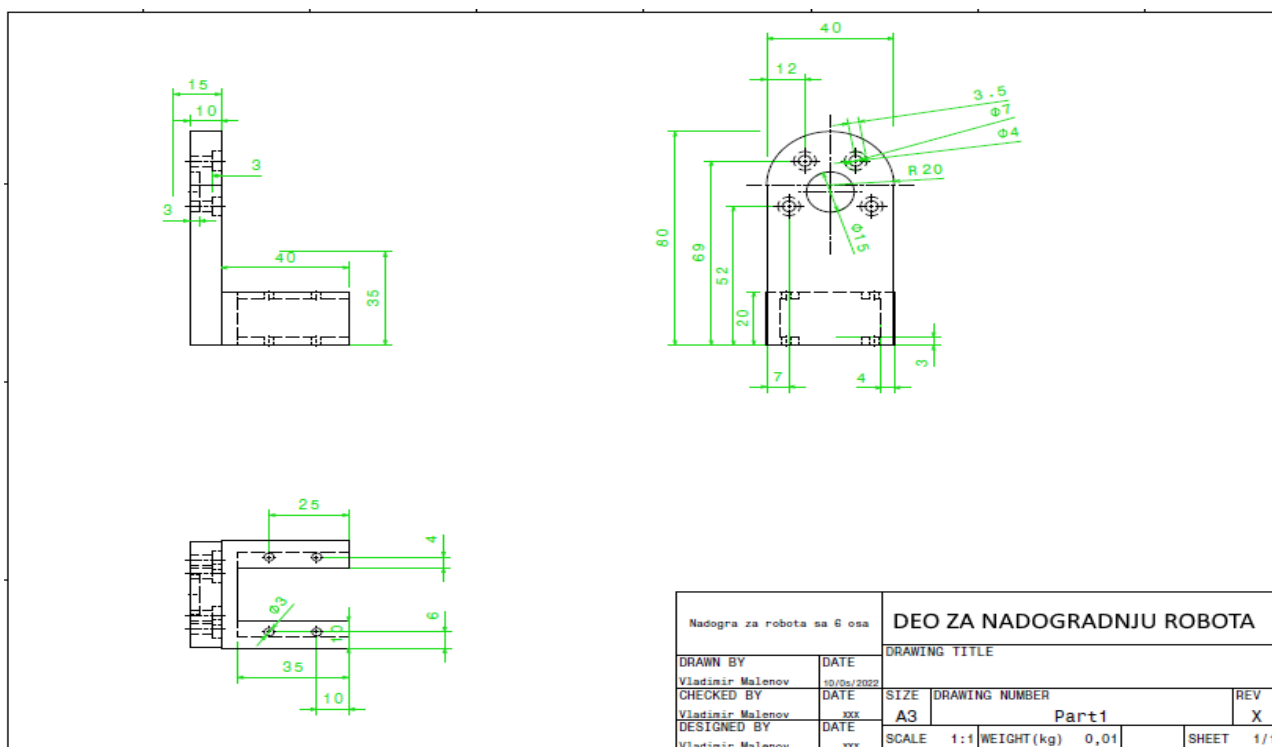
infrastruktura i računari koji su umreženi i mogu da rade sinhrono u realnom vremenu [3].



Slika 4. Korišćenje programskog sistema CATIA u okruženju računarskog oblaka.

5.2 Definisanje tehničke dokumentacije dela za nadogradnju robota

Od naručioca je dobijena skica dela, koja uključuje i potrebne dimenzije. Na slici 5 prikazan je tehnički crtež dela koji je potrebno izraditi.



Slika 5. Tehnički crtež dela za nadogradnju robota.

5.3 Definisanje i konfiguracija štampača za izradu dela za nadogradnju robota

Odabrani modela 3D štampača koji je korišten je jedan od osnovnih i manje zahtevnih štampača jer izradak nije složen i zadovoljava tražene karakteristike proizvoda u pogledu tehničkih karakteristika.

Uređaj ima displej na kome u realnom vremenu pokazuje podatke potrebno vreme izrade, temperaturu ekstrudera i temperaturu podloge, pokazuje brzinu štampanja i koordinate po kojima se kreće a koje se dobijaju očitavanjem koda.

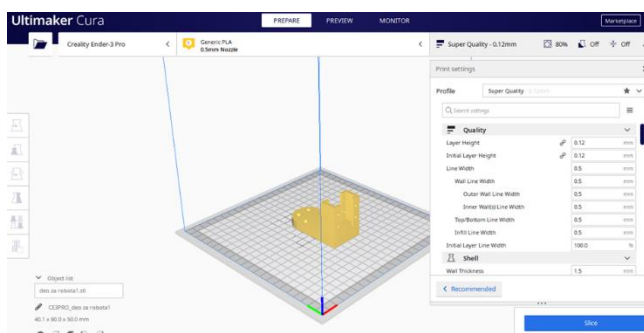
Uređaj je konektovan na internet tako da se podaci mogu pratiti na mobilnom telefonu, računaru ili tabletu na drugom mestu kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Konektovan 3D štampač na tabletu.

5.4 Priprema izrade dela za nadogradnju robota primenom 3D štampe i podešavanje parametara rada štampača

Za izradu traženog dela koristi se program CURA u kome se podešavaju parametri rada, izbor filameta, izbor temperature, brzinu štampe, odnosno ispune modela, izbor veličine dizne kroz koje će prolaziti filament itd. Na slici 7 prikazano je podešavanje parametara rada u programu CURA.

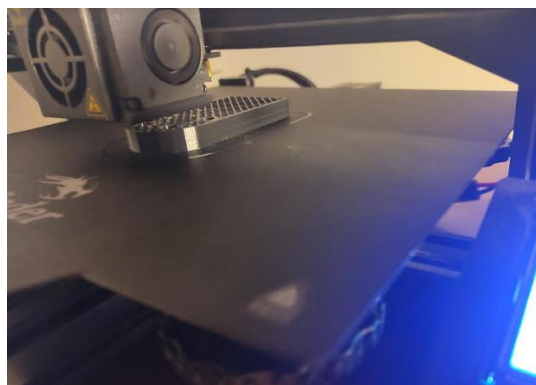


Slika 7. Podešavanje parametara rada 3D štampača u programu CURA.

5.5 Proces izrade dela za nadogradnju robota

Navedeni parametri štampe se čuvaju u oblaku odakle se prenose na 3D štampač. Podacima se u realnom vremenu prenose na 3D štampač koji očitava G kod.

Svi parametri koji se nalaze na displeju 3D štampača su u realnom vremenu vidljivi i preko oblaka. Sve greške i nedostaci u štampi se beleže u bazi podataka u cilju poboljšanja i unapređenja buduće izrade modela. Na slici 8 se vidi proces štampanja dela za nadogradnju robota.



Slika 8. Proces štampe.

6. ZAKLJUČAK

Savremeni pristup upravljanja proizvodnjom pokazuje da ima sposobnost da funkcioniše na daljinu, da nije potrebno konstantno prisustvo ljudi za mašinom. Mašina korišćenjem pametnih tehnologija sama može da unapredi proizvodnju, otkloni potencijalne nedostatke i da može samostalno da uči prikupljanjem procesnih informacija. Na datom primeru je pokazano da je moguća postepena implementacija Industrije 4.0 u tehnologiji 3D štampe i da ne mora biti trenutna i sveobuhvatna što se može primeniti i na ostalim proizvodnim delatnostima po fazama a da je benefit dugoročan. Zaključak master jeste da ovakav pristup savremenim tehnologijama primenjiv na mala i srednja preduzeća u oblasti 3D štampe kao i da postoji dosta prostora za unapređenja ove tehnologije.

7. LITERATURA

- [1] Alan Topčić, Edin Cerjaković: "Izrada prototipa", Tuzla, 2014.
- [2] Dejan Movrin: "Optimizacija parametara postprocesiranja u tehnologiji vezivne 3D štampe", Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.
- [3] Konstantinos Paraskevoudis, Panagiotis Karayannis and Elias P. Koumoulos: "Real-Time 3D Printing Remote Defect Detection", Processes, MDPI, 2020.

Kratka biografija:



Vladimir Malenov rođen je u Beogradu 1993.god., Master inženjer rudarstva.

Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva–Proizvodno mašinstvo, odbranio je 2022. godine.
kontakt: vmalenov@gmail.com

**АНАЛИЗА РАДА ХАВАРИЈСКЕ КОЧНИЦЕ ДИЗАЛИЦЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ
КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА****ANALYSIS OF THE CRANE EMERGENCY BRAKE OPERATION USING THE FINITE
ELEMENT METHOD**

Горан Китић, Никола Иланковић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Диск кочнице су изложене тежим радним условима који су последица великих термичких оптерећења током процеса кочења. Та велика термичка оптерећења, која настају услед контактне трење између кочионог диска и кочионих облога, могу да доведу до хаварије целог механизма. Основни циљ рада је одређивање расподеле топлоте по кочионом диску услед термичких оптерећења. Због топлоте која се генерише на контактне површини, проучавају се утицајне величине које се користе за добијање потребне прерасподеле топлоте. Анализа је спроведена помоћу методе коначних елемената и програмског софтвера Autodesk Inventor Nastran.

Кључне речи: кочница, диск, дизалица, метода коначних елемената

Abstract – Disc brakes are exposed to severe operating conditions due to high thermal loads during the braking process. These high thermal loads, which are caused by the contact friction between the disc brake and the brake pads, can lead to the breakdown of the whole mechanism. The main goal of the paper is to determine the heat distribution on the disc brake due to thermal loads. Therefore, the main principles of heat transfer by conduction and convection are studied. The analysis was conducted using the finite element method in the environment of Autodesk Inventor Nastran.

Keywords: brake, disc, hoist, finite element method

1. УВОД

У савременом инжењерству безбедност има највећи приоритет приликом пројектовања и конструисања машина. Најважнији безбедносни систем од свих система једне машине или уређаја јесте систем кочења. Диск кочнице све више из употребе потискују добош кочнице, те се све већи значај придаје њиховој анализи и побољшању. Током процеса кочења, кочионе облоге врше притисак на кочиони диск, те смањују брзину или заустављају одговарајуће кретање механизма, односно погона дизања дизалице у овом случају. Кочнице које се користе на дизаличним погонима могу бити радне и хаваријске. Радне кочнице се активирају у уобичајеним режимима рада, док се хаваријске кочнице активирају у случају прекида кинематске везе у механичком преносу или назнаке било каквог квара механизма.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Живанић, ванр. проф.

Термичке анализе диск кочница су се вршиле током историје применом различитих технологија и софтвера, од којих се као најпогоднија показала метода коначних елемената. Стога се тема овог рада заснива на идеји о испитивању хаваријских кочница помоћу методе коначних елемената. Хаваријске кочнице представљају недовољно испитано поље истраживања, због специфичности начина и услова рада. Управо због те специфичности, велики број параметара, као и поступак прорачуна захтева различита прилагођавања. Одговарајућим адаптацијама израза преноса топлоте путем кондукције и конвекције добијају се изрази потребни за одређивање топлотног флукса. Основна и најбитнија претпоставка која се усваја током ове анализе је да се сва кинетичка енергија током кочења претвара у топлотни флуks на контактне површини трења. Програмски софтвер који се користи у овом раду је Autodesk Inventor Nastran, који на основу познатих вредности топлотног флукса и конвекције прорачунава и приказује промену расподеле топлоте на запремини диска током целог процеса кочења.

**2. ХАВАРИЈСКА КОЧНИЦА И ПРОЦЕС
КОЧЕЊА**

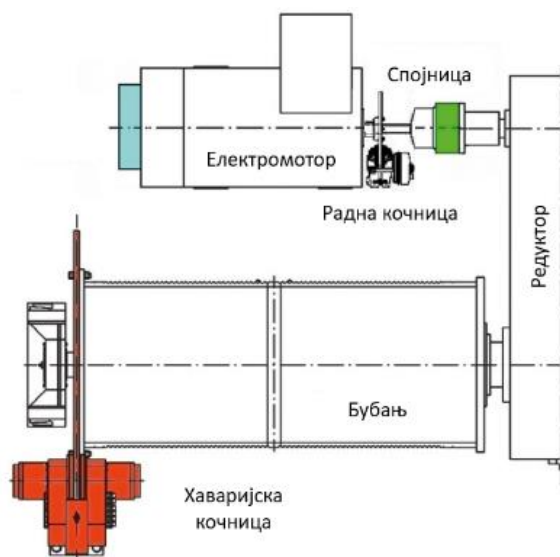
Задатак хаваријске кочнице, слика 1, је да у што краћем периоду заустави терет који је почео да пада, услед неког квара или хаварије.



Слика 1. Хаваријска кочница

Због тог кратког временског интервала, не постоји довољно времена да се одведе велика количина топлоте која настаје на месту контактне трење. Та топлота се акумулира у диску или бубњу, те се стога ови делови израђују као пуни комади без ребара за хлађење. Акумулирана топлота, уз триболошка

својства, у највећој мери условљава избор материјала кочионог диска. Као најбољи материјал се показао конструкциони челик (*S355JR*). Уз конструкциони челик, све чешћу примену имају алуминијум – метални композити и легуре титанијума. Због недовољног времена за достизање стационарне температуре, анализа рада хаваријске кочнице се врши под условима нелинеарног нестационарног топлотног процеса. Односно, процес је нестационаран, јер су све величине посматрања (брзина, оптерећења, температура, услови околине) временски променљиве. У односу на радне, хаваријске кочнице се постављају што ближе радном уређају, односно на вратилу или ободу бубња, слика 2. Тиме је остварена већа сигурност, јер се кочење може остварити у случају лома неког дела између погонског електромотора и бубња.



Слика 2. Место постављања хаваријске кочнице

Према врсти уређаја који врши кочење, најчешће се користе хаваријске кочнице са калиперима, које се карактеришу високим вредностима обртног момента. У зависности од врсте материјала кочионог диска и расположивог простора за смештај компоненти, одређује се потребан број калипера који се поставља на обод диска. Најчешће је то један уређај са два калипера, међутим рудничке дизалице и дизалице које раде у сличним условима, користе већи број мањих калипера, како би се смањиле габаритне димензије конструкције.

3. ОСНОВЕ ПРЕНОСА ТОПЛОТЕ ПРОЦЕСА КОЧЕЊА

Топлота се непрекидно преноси у природи са једног тела на друго. Тај пренос топлоте се може вршити на 3 начина, а то су конвекција, кондукција и радијација. Кондукција представља пренос топлоте директним контактом у циљу изједначавања температура између два тела. Конвекција представља преношење топлоте до других суседних тела унутрашњим кретањем молекула. Радијација представља преношење топлоте са једног тела на друго, без директног учествовања материје. Приликом термичке анализе диск кочнице, радијација се обично занемарује, јер износи мање од 5 % укупне вредности преноса топлоте [1]. Кондукција и

конвекција зависе од великог броја параметара, где кондукција приликом рада диск кочнице представља пренос топлоте између кочионе облоге и диска који настаје због трења на контактном месту. Конвекција у овом случају представља процес хлађења, односно одвођења топлоте са површине диска на околину. Стога, она игра велику улогу код дискова који су израђени са ребрима или отворима за хлађење. За пуни диск, количина топлоте која се одведе путем конвекције је минимална. Ипак да би се показала специфичност услова рада хаваријске кочнице и немогућност квалитетног одвођења топлоте, у раду је спроведена анализа која уз кондукцију укључује и пренос топлоте конвекцијом.

3.1 Конвекција

Прорачун преноса топлоте путем конвекције се поједностављује због кратког временског периода доступног за одвођење топлоте, геометрије диска, и непостојања додатног уређаја за одвођење топлоте (природна конвекција). Према Њутновом закону хлађења, конвекција се може изразити као:

$$q_{konv} = h \cdot S_d (\tau - \tau_{ok}) \quad (1)$$

где је: S_d – површина диска која је у контакту са кочионом облогом током процеса кочења, h – коефицијент конвекције, τ – температура диска у тренутку посматрања, τ_{ok} – температура околине.

Коефицијент конвекције је позитивна величина која се експериментално одређује. Зависи од агрегатног стања материјала, начина на који флуид струји, врсте конвекције и многих механичких и термичких особина материјала. Због поједностављеног одвијања процеса конвекције, у случају хаваријског кочења, може се усвојити, према [2]:

$$h = \begin{cases} 6,725 \cdot \omega^{0,55}, & 0 < \omega < 46,36 \text{ rad/s} \\ 3,289 \cdot \omega^{0,90}, & \omega > 46,36 \text{ rad/s} \end{cases} \quad (2)$$

Из датог обрасца се закључује да за случај хаваријског кочења, хлађење површине диска услед конвекције зависи искључиво од угаоне брзине обртања диска (ω).

3.2 Топлотни флукс

Топлотни флукс представља пренос топлоте кондукцијом која дејствује на контактну површину трења између диска и облоге. Сва кинетичка енергија која настаје на месту трења контактних површина се претвара у топлотну енергију. Један део те топлоте је апсорбован од стране диска, док остатак апсорбују кочионе облоге. Да би се одредила количина топлоте коју апсорбују диск и облоге, потребно је одредити врсту њиховог контакта. У термичким анализама постоје два типа термичких контаката:

1. савршен контакт – подразумева једнаку температуру на контактної површини, јер занемарује утицај мазивног средства;
2. несавршен контакт – подразумева постојање термичког отпора између диска и облоге услед постојања мазивног средства, које раздваја две површине.

Контакт између диска и облоге је несавршен због постојања мазивног средства и због различитих термичких особина материјала, те је потребно одредити коефицијент раздвајања [3]:

$$\sigma = \frac{\xi_d \cdot S_d}{\xi_d \cdot S_d + \xi_p \cdot S_p} \quad (3)$$

где су :

$\xi_d = \sqrt{k_d \cdot \rho_d \cdot c_d}$ – термичка инерција диска;

$\xi_p = \sqrt{k_p \cdot \rho_p \cdot c_p}$ – термичка инерција кочионе облоге.

У изразима за одређивање термичких инерција фигуришу топлотна кондуктивност (k), густина материјала (ρ) и специфична топлота (c) диска и кочионе облоге. Према [4] који дефинише механичке и термичке особине диска и кочионих облога, долази се до вредности коефицијента раздвајања од 0,88, што значи да 88% топлоте апсорбује диск, а осталих 12% облоге. Количина топлоте (кондукција) која се ослобађа на површини диска током кочења хаваријске кочнице се може одредити [4]:

$$Q_s = 0,88 \cdot E_B = 0,88 \cdot \frac{\pi}{60} \cdot T_K \cdot n_0 \cdot (1 - \frac{t}{t_k}) \quad (4)$$

где су:

$E_B [J]$ – количина ослобођене енергије;

$T_K [Nm]$ – кочиони момент;

$n_0 [min^{-1}]$ – број обртаја диска на почетку кочења;

$t [s]$ – време у тренутку посматрања;

$t_k [s]$ – трајање процеса кочења.

Да би се одредио топлотни флуks, потребно је одредити и површину диска на коју се преноси кондукција. Усвојена је кочиона облога, чија је површина $S_p = 0,0214 m^2$ [5], док се површина диска на којој долази до контакта израчунава на основу познатих параметара геометрије диска. Потребна површина диска износи $S_d = 0,34 m^2$. Коначно се може одредити потребан топлотни флуks:

$$q_d = \frac{Q_s}{S_d} \quad (5)$$

Уз помоћ датих образаца за топлотни флуks и конвекцију, могуће је одредити потребне количине топлоте које се доводе и одводе диску током кочења.

4. ПОСТУПАК АНАЛИЗЕ

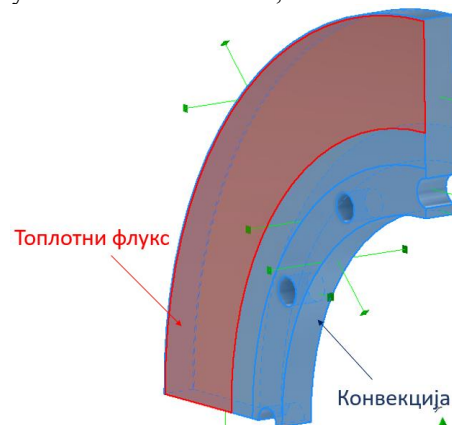
На почетку анализе се врши израчунавање вредности топлотног флуksа и коефицијента конвекције на основу познатих израза. Добијена вредност коефицијента конвекције износи: $h = 0,010193 \frac{mW}{mm^2 \cdot K}$. док израчуната вредност топлотног флуksа износи $q_d = 578,468 \cdot (1 - \frac{t}{t_k}) \frac{mW}{mm^2}$. Може се приметити да је вредност коефицијента конвекције, а самим тим и преноса топлоте путем конвекције занемарљиво мала у односу на количину топлоте која се преноси кондукцијом, што је и било за очекивати, с обзиром на услове рада хаваријске кочнице и услове одвијања конвекције. Осим термичких оптерећења, потребно је одредити и трајање процеса кочења. Тип анализе коме се подвргава диск кочница је нелинеарна нестационарна, термичка анализа. Управо из тог разлога је потребно одредити трајање процеса кочења, јер су све величине посматрања (топлотни флуks, конвекција, угаона брзина) временски променљиве. Време кочења које се користи у овој анализи јесте $t_k = 6,6 s$. Даљи поступак анализе наставља се у програмском софтверу Autodesk Inventor Nastran који уз велики број различитих анализа, може вршити управо и нелинеарну нестацио-

нарну термичку анализу помоћу методе коначних елемената. Након формирања геометријског модела, извршена је идеализација модела, односно формиран је модел, који својим симетричним формама може да представи функцију и начин оптерећења целине, а да при томе смањи обим прорачуна. У програму се као следећи корак задаје материјал датом моделу, према табели 1.

Табела 1.

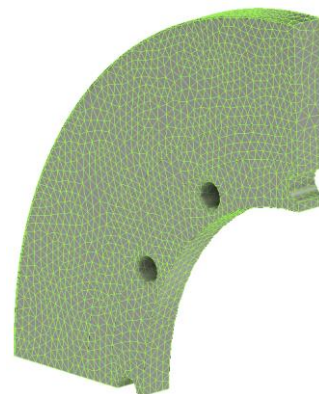
$\rho [\frac{kg}{m^3}]$	μ	$f_M [MPa]$	$f_y [MPa]$	$k [\frac{W}{m \cdot K}]$	$c [\frac{J}{m \cdot K}]$
7850	0,25	550	355	46	500

Затим се задаје време трајања анализе од $t_{uk} = 7 s$, са временским кораком од $\Delta t = 1s$. Моделу се задају 3 оптерећења, од којих је прво почетни услов, који представља температуру од 298 K. Друго оптерећење је конвекција, која се наноси на све површине диска које нису у директном контакту са кочионом облогом. Треће оптерећење је топлотни флуks, који се задаје само на оне површине диска које су у директном контакту са кочионом облогом, слика 3.



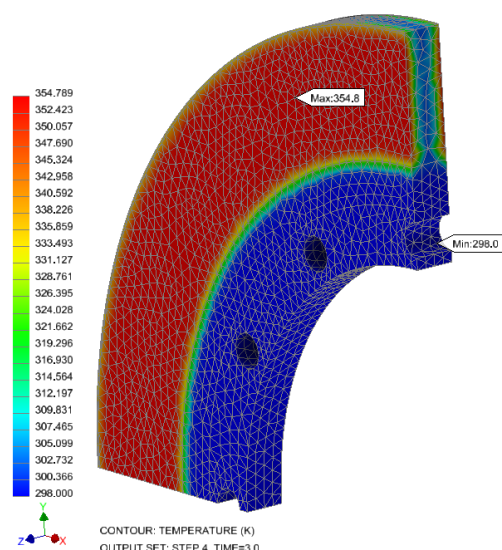
Слика 3. Задавање оптерећења

Вредност топлотног флуksа и коефицијента конвекције је потребно израчунати за сваки временски тренутак претходно задатог временског интервала, те путем табеле унети вредности у софтвер. Због зависности тачности резултата од избора величине коначног елемента, односно од густине мреже, прорачун се понавља кроз неколико итерација све док се не добије конвергенција резултата. Усваја се задовољавајућа величина коначног елемента од 10 mm, те се формира мрежа, слика 4, која се састоји из 28.145 елемената.



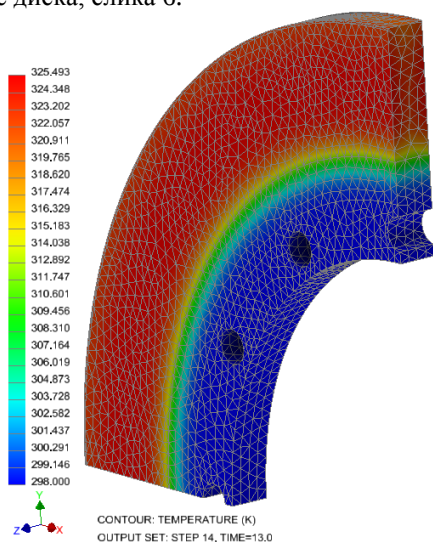
Слика 4. Формирана мрежа коначних елемената

Пуштањем симулације у рад добијају се следећи резултати, слика 5, где је максимална температура диска око 82 °C, у временском тренутку од $t = 3$ s.



Слика 5. Максимална температура диска

Након 13 s долази до равномерног загревања целе дебљине диска, слика 6.



Слика 6. Равномерна дистрибуција топлоте по дебљини диска

Уколико се топлотни флуks израчуна према законима механике, добијају се знатно мање вредности, те се добије да максимална температура на површини диска износи 41 °C. Разлог за то је неприлагођеност поступка прорачуна топлотног флуksа пр-ема законима механике условима рада хаваријске кочнице, који су веома специфични (мали број обртаја вратила на коме су постављене).

Сви претходно наведени резултати важе за услове околине ($\tau_{ok} = 25$ °C). Уколико дизалица ради у ливници, где је ($\tau_{ok} = 60$ °C), добија се максимална температура на површини диска од 117 °C.

Ови резултати указују на то да код хаваријског кочења, повећање температуре околине пропорционално повећава максимално развијену температуру током кочионог процеса.

5. ЗАКЉУЧАК

Добијени резултати - вредности топлотног флуksа и дистрибуције топлоте по површини диска, указују на појаву високих термичких оптерећења током кочионог процеса. Може се закључити да дистрибуција топлоте по површини хаваријске диск кочнице зависи од великог броја параметара, од којих су најбитнији: термичка и механичка оптерећења, особине материјала и геометрија диска. У односу на радне и аутомобилске диск кочнице, јављају се мање вредности температуре на површини диска, због мањег броја обртаја вратила на коме је постављена хаваријска кочница. Стога, како би се спречила хаварија механизма, најважнији фактор представља смањење времена реаговања кочнице.

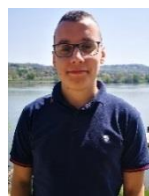
Смањењем тог времена, спречило би се прекомерно повећање угаоне брзине диска, а самим тим би се јављала мања оптерећења. Постоји простор за даља истраживања и испитивања диск кочница, а нарочито хаваријских, а неке од препорука су:

- испитивање трења које настаје на контактної површини;
- проучавање могућности смањења времена реаговања кочнице (мртвог времена);
- прилагођавање постојећих прорачуна условима рада хаваријских кочница.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Belhocine A, Cho C.D, Nouby M, Yi Y.B, Abu Bakar A.R, "Thermal analysis of both ventilated and full disc brake rotors with frictional heat generation", Applied and Computational Mechanics, Vol.8, Issue 1, pp. 5-24, 2014, ISSN:1802-680x (Print), ISSN:2336-1182 (Online).
- [2] Zhang J, Changgao X, "Research of the transient temperature field and friction properties on disc brakes", Proceedings of the 2012 2nd International Conference on Computer and Information Application (ICCIA 2012), 2014, ISSN:1951-6851, DOI:https://doi.org/10.2991/iccia.2012.49
- [3] Majcherczak D, Dufre'noy P, Nai't-Abdelaziz M, "Third body influence on thermal friction contact problems: application to braking", Journal of Tribology, Vol. 127, Issue 1, pp. 89-95, 2005, DOI:https://doi.org/10.1115/1.1757490
- [4] DIN 15434-1; Trommel- und Scheibenbremsen Berechnungsgrundsätze.
- [5] DIN 15433-2; Bremsbeläge mit formschlüssig verbundenen Bremsbelagträgern.

Кратка биографија:



Горан Китић рођен је у Бањалуци, Босна и Херцеговина, 1997. год. Дипломирао је 2020. год. на Факултету техничких наука, смер Механизација и конструкционо машинство, на којем исте године уписује мастер академске студије.



Никола Иланковић рођен је у Суботици 1994. год. Завршио је мастер академске студије 2018. године на Факултету техничких наука и исте године уписао докторске студије машинства. Запослен је у звању асистент мастер на ФТН у Новом Саду.

3D REKONSTRUKCIJA SCENE NA OSNOVU KRETANJA KAMERE**3D SCENE RECONSTRUCTION BASED ON CAMERA MOTION**Jana Kudus, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu opisan je proces dobijanja 3D oblaka tačaka na osnovu skupa fotografija snimljenih upotrebom drona. Dat je odnos između 3D koordinata tačke i odgovarajućih 2D projekcija kao i opis Structure-from-Motion (SfM) algoritma. Takođe, diskutovan je pristup za prevazilaženje problema merenja na osnovu aerosnimaka upotrebom dobijenog 3D modela.

Ključne reči: 3D rekonstrukcija, Structure-from-Motion, aerosnimanje

Abstract – This paper describes the process of obtaining 3D point cloud using the set of photographs taken from a drone. Relationship between 3D coordinates of the point and corresponding 2D projections as well as a description of Structure-from-Motion (SfM) algorithm is given. Also, an approach for overcoming the problem of measurements based on aerial photography, by using obtained 3D model, is discussed.

Keywords: 3D reconstruction, Structure-from-Motion, aerial photography

1. UVOD

Fotogrametrija predstavlja tehniku dobijanja pouzdanih informacija o fizičkim objektima i životnoj sredini kroz proces snimanja, interpretacije i merenja fotografske slike. Neke od primena fotogrametrije jesu kreiranje topografskih karti, ili kreiranje 3D modela kao osnove za rešavanje brojnih inženjerskih i drugih naučnih problema.

Najjednostavniji način za dobijanje informacija o 3D prostoru na osnovu 2D fotografija jeste upotrebom stereo vizije. Stereo vizija zasniva se na upotrebi dve kamere, pomerene jedna u odnosu na drugu, sa ciljem da se objekat istovremeno fotografiše iz dva različita ugla. Identifikovanjem iste ključne tačke u dve dobijene fotografije i uz pomoć triangulacije moguće je dobijanje informacije o dubini tačke i njeno projektovanje u 3D prostor.

Ovaj postupak je unapređen upotrebom većeg broja kamera, koje omogućavaju prikupljanje većeg broja informacija o sceni. Algoritmi koji se koriste za dobijanje informacija o 3D prostoru na osnovu stereo korespondencija više od dve slike nazivaju se *Multiple View Stereo* (MVS) algoritmima.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio docent dr Branko Brkljač.

Međutim, kako upotreba većeg broja kamera podrazumeva i veću cenu, kao i kompleksniji postupak pripreme, ovakav način dobijanja 3D informacija nije praktičan za primenu izvan laboratorijskih uslova. Pravljjenjem kompromisa u kvalitetu 3D rekonstrukcije, uz pomoć Structure from Motion (SfM) algoritama, sličan efekat moguće je postići i upotrebom samo jedne kamere, koja se pomera oko objekta i snima fotografije u različitim vremenskim trenucima.

Fotogrametrija zasnovana na SfM algoritmima takođe može da koristi i fotografije ili video zapise snimljene iz vazduha (eng. *aerial photogrammetry*) uz pomoć aviona, helikoptera ili bespilotnih letelica. Fotogrametrijska snimanja pod uglom ili vertikalno na površinu Zemlje pronašla su primenu u kartografiji, urbanističkom planiranju, arheologiji, poljoprivredi i mnogim drugim oblastima.

2. STRUCTURE-FROM-MOTION

Structure-from-motion (SfM) algoritam predstavlja fotogrametrijsku tehniku za prikupljanje informacija o 3D prostoru na osnovu 2D slika prikupljenih iz različitih pogleda i u različitim vremenskim intervalima. SfM algoritmi kao ulaz koriste skup fotografija i određuju parametre kamere za svaku ulaznu fotografiju i skup tačaka u 3D prostoru. Dakle, kao rezultat SfM algoritama, dobija se oblak tačaka (eng. *sparse reconstruction*), na osnovu kojeg se, u zavisnosti od potrebe, može dobiti gusta rekonstrukcija (eng. *dense reconstruction*), te dobiti predstava u vidu poligonalne mreže, skupa ravni ili realističnog rendera.

Najveći broj SfM algoritama prati iste korake:

1. Detekcija i deskripcija ključnih tačaka na svakoj od ulaznih slika
2. Pronalaženje podudarajućih ključnih tačaka na različitim slikama i generisanje liste 2D koordinata ključnih tačaka
3. Određivanje 3D koordinata ključnih tačaka na osnovu odgovarajuće liste 2D koordinata
4. Dorađivanje modela podešavanjem snopa zraka (eng. *bundle adjustment*)

2.1. Detekcija i deskripcija ključnih tačaka

Detekcija ključnih tačaka predstavlja proces selekcije tačaka koje definišu sadržaj slike, nezavisnih od orijentacije, perspektive, rezolucije i osvetljenja slike.

Ključne tačke tipično se određuju analiziranjem veličine i smera promene intenziteta u lokalnim regionima slike, u cilju detekcije ivica i ćošкова. Karakteristike lokalnih regiona u okolini svake ključne tačke nazivaju se deskriptorima ključnih tačaka.

Kada su u pitanju SfM algoritmi, jedan od najčešće upotrebljivanih algoritama za detekciju i deskripciju ključnih tačaka jesu *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) algoritam.

2.2. Pronalaženje podudarajućih ključnih tačaka

Podudaranje ključnih tačaka odnosi se na pronalaženja istih ključnih tačaka na paru slika, na osnovu deskriptora slike dobijenih u prethodnom koraku, pri čemu se za svaku ključnu tačku dobija lista 2D koordinata preuzetih za svaku sliku na kojoj je ona vidljiva.

Najjednostavniji način pronalaženja podudarajućih ključnih tačaka na paru slika jeste upotrebom *Brute-Force* algoritama. Ovi algoritmi funkcionišu tako što se između deskriptora neke ključne tačke sa prve slike i deskriptora svih ključnih tačaka na drugoj slici računaju udaljenosti u prostoru obeležja. Kao rezultat, pronalazi se par ključnih tačaka, koje su na osnovu izračunatih udaljenosti najbliže u prostoru obeležja.

Međutim, kako SfM algoritmi kao ulaz tipično koriste više od dve fotografije, izazov jeste pronalaženje parova fotografija koje poseduju podudarajuće ključne tačke. Ovaj postupak može da se razlikuje u zavisnosti od toga da li je skup fotografija struktuiran ili nestruktuiran.

U slučaju kada je skup ulaznih fotografija nestruktuiran, predznanje o tome na kojim slikama postoji podudaranje nije dostupno, te svaka slika mora da prođe kroz proces pronalaženja podudarajućih ključnih tačaka sa svim ostalim slikama iz ulaznog skupa, odnosno radi se potpuna pretraga, što može biti veoma računski i vremenski zahtevno. Iz tog razloga, u slučaju ulaznih skupova koji poseduju više stotina fotografija, preporučeni pristup je pronalaženje podudarajućih tačaka samo na vizuelno najslabijim fotografijama.

U slučaju kada je ulazni skup fotografija struktuiran, postoji određeno predznanje o tome na kojim fotografijama postoje podudaranja, te ga je moguće iskoristiti kako bi se ovaj korak olakšao.

2.3. Određivanje 3D koordinata ključnih tačaka

Za dobijanje podataka o 3D prostoru neophodno je određivanje fundamentalne matrice, a zatim i odgovarajućih projekcionih matrica.

Fundamentalna matrica definisana je izrazom [1]:

$$x'Fx = 0 \quad (2)$$

Gde su x i x' podudarajuće ključne tačke u dve slike.

Matrica F ima 5 nenulatih elemenata, odnosno 4 stepena slobode, te se može zapisati i kao [2]:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & b \\ c & d & e \end{bmatrix} \quad (3)$$

Iz navedenih izraza moguće je zaključiti da je poznavanjem dovoljnog broja parova tačaka moguće odrediti elemente fundamentalne matrice. Minimalni broj potrebnih korespondencija je $n = 4$, odnosno potrebno je ukupno 8 ključnih tačaka za određivanje fundamentalne matrice. Međutim, u slučaju postojanja više od četiri podudaranja, uz uvođenje pretpostavke da na slikama

postoji šum, kao i pogrešna podudaranja ključnih tačaka, rešenje nije jednoznačno, te je potrebno pronaći najverovatnije rešenje (eng. *Maximum Likelihood*, ML). ML rešenje zahteva upotrebu algoritma otpornog na pogrešna merenja, kao što je to na primer, *Random Sample Consensus* (RANSAC) algoritam. U ovom slučaju optimalna matrica F može se odrediti minimizacijom funkcije [2]:

$$\sum_i d(x_i, F^{-1}x'_i)^2 + d(x'_i, Fx_i)^2 \quad (4)$$

Određivanje koordinata 3D tačke na osnovu datih 2D koordinata naziva se triangulacijom. Kako bi triangulacija bila moguća, nakon određivanja fundamentalne matrice F , potrebno je odrediti par projekcionih matrica dve kamere. Uz pretpostavku da je tačka x'_t , koja se nalazi na slici t sa odgovarajućom projekcionom matricom P_t projekcija nepoznate tačke u 3D prostoru X , uslov koji ona mora da zadovolji dat je sledećim izrazom [2]:

$$x'_t \times P_t X = S_{x'_t} P_t X = 0 \quad (5)$$

Gde je $S_{x'_t}$ kososimetrična matrica koordinata tačke x'_t .

Međutim, uzimajući u obzir nesavršenost merenja, ovaj uslov nije moguće zadovoljiti za sve projekcije istovremeno. Iz tog razloga, traži se približno rešenje X kroz optimizaciju podešavanjem snopa zraka.

2.4. Podešavanje snopa zraka

Optimalno rešenje triangulacije podrazumevalo bi pronalazak zraka koji prolaze kroz podudarne tačke na različitim fotografijama, a zatim pronalazak njihovog preseka u 3D prostoru koji definiše tačku X . Međutim, uzimajući u obzir nesavršenost merenja, potrebno je u obzir uzeti stohastičke osobine podudarnih tačaka u cilju pronalaženja optimalne tačke preseka snopa zraka u 3D. Prilikom rešavanja problema rekonstrukcije, rešava se naredni problem: na osnovu koordinata podudarnih ključnih tačaka dobijenih iz skupa ulaznih slika (koordinate x'_j), odrediti skup matrica kamere P^i i 3D tačaka X_j , takvih da je zadovoljena jednačina: $P^i X_j = x'_j$. Međutim, zbog šuma prisutnog u merenjima, ova jednačina nikada neće biti u potpunosti zadovoljena za sve tačke, te se traži približno ML rešenje koje istovremeno estimira matrice kamere i 3D tačke minimizovanjem greške projekcije [2]:

$$\min_{\hat{P}^i, \hat{X}_j} \sum_{ij} d(\hat{P}^i \hat{X}_j, x'_j)^2 \quad (6)$$

3. MERENJA NA OSNOVU AEROSNIMAKA

Za određivanje fizičkih dimenzija piksela u slučaju aerosnimaka neophodno je poznavanje visine sa koje je snimak formiran u odnosu na teren. Dron visinu može da beleži na dva načina:

1. Upotrebom GPS
2. Upotrebom barometra

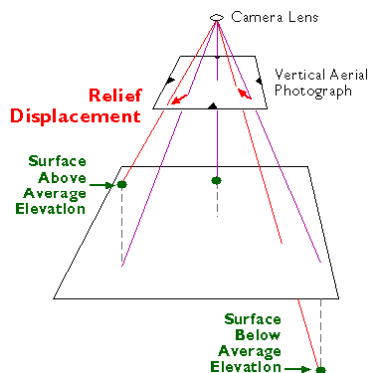
Međutim, visina izmerena upotrebom ovih senzora ne predstavlja visinu u odnosu na teren. Visina dobijena upotrebom GPS predstavlja visinu u odnosu na referentni elipsoid, dok visina dobijena upotrebom barometra odgovara visini u odnosu na početnu tačku snimanja.

Dakle, za određivanje stvarne visine drona u odnosu na teren potrebno je poznavanje digitalnog modela elevacije (eng. *Digital Elevation Model*, DEM) ili digitalnog modela površine (eng. *Digital Surface Model*, DSM). DEM i DSM sadrže informacije o stvarnoj visini terena na svakoj od posmatranih lokacija, pri čemu DEM predstavlja visinu površine Zemlje ne uzimajući u obzir rastinje, građevine i druge objekte, dok DSM modeluje površinu Zemlje, kao i sve objekte na njoj.

Dobijanje DSM moguće je na osnovu višestrukih slika terena, korišćenjem prethodno opisanih SfM algoritama. Tačnije, ovo predstavlja prvi korak kreiranja ortomozaika – aerosnimka na osnovu kojeg je moguće vršiti merenja.

3.1. Kreiranje ortomozaika

Fizička veličina piksela zavisi od visine sa koje su oni formirani. Dakle, razlike u visini terena utiču na razmeru fotografija. Dodatno, efekat koji se javlja kao posledica razlike u visini terena u odnosu na centar aerosnimka naziva se reljefnim pomerajem. Kao što se može uočiti na slici 1, objekti koji poseduju veću visinu su na aerosnimku pomereni od centra slike, dok su objekti koji su na nižoj visini pomereni ka centru slike. Iz ovog razloga aerosnimci nisu pogodni za merenje udaljenosti ili dimenzija objekata bez prethodne obrade.



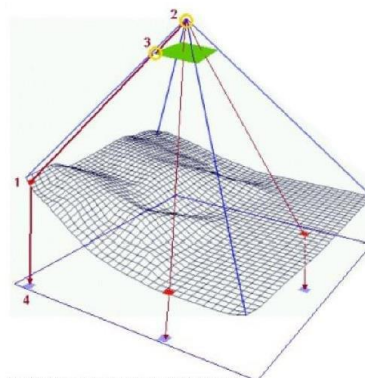
Slika 1. Reljefni pomeraj [3]

Ortofotografija, stvarna ortofotografija i ortomozaik predstavljaju geometrijski korigovane aerosnimke, te se za razliku od aerosnimka mogu koristiti za merenje.

Ortofotografija i stvarna ortofotografija razlikuju se po tome što se prilikom procesa formiranja ortofotografije koristi DEM, dok se pri formiranju stvarne ortofotografije koristi DSM. Međutim, kako su tradicionalni pristupi formiranja DSM bili veoma skupi, formiranje stvarne ortofotografije nije bilo široko zastupljeno. Način za prevazilaženje ovog problema jeste korišćenje SfM tehnika za 3D rekonstrukciju kojima se na osnovu generisanog DSM omogućava ortorektifikacija snimaka i generisanje ortomozaika. Primena SfM na skup slika čije geometrijsko korigovanje je potrebno izvršiti, proces je učinilo značajno jeftinijim i dostupnijim.

Na slici 2 ilustrovan je proces ortorektifikacije jedne slike prilikom formiranja ortomozaika. Za svaki korigovani piksel, označen sa „(4)“ u diskretnoj mreži, odgovarajuća tačka DSM (1) projektuje se na odgovarajuću lokaciju na ravni slike (3) na osnovu poznatih parametara kamere (2). Iz tog razloga opisana operacija se još naziva i projekcijom unazad (eng. *backprojection*). Vrednosti

intenziteta novog piksela (4) moguće je dobiti na osnovu interpolacije vrednosti intenziteta piksela u okolini pozicije (3), jer u opštem slučaju piksel (3) jednoznačno ne odgovara ni jednoj diskretnoj vrednosti u novoj slici.



Slika 2. Proces formiranja ortomozaika [4]

U poređenju sa aerosnimkom, na ortorektifikovanom snimku nije prisutna distorzija prouzrokovana različitim visinama terena, čime je uklonjen i problem različitog skaliranja objekata koji se nalaze na različitim visinama, te je omogućeno tačno merenje na osnovu slika.

4. FORMIRANJE SKUPA PODATAKA ZA FOTOGRAMETRIJSKU 3D REKONSTRUKCIJU

Prikupljanje skupa fotografija je korak koji ima najznačajniji uticaj na krajnji ishod 3D rekonstrukcije. Neadekvatno podešeno osvetljenje, okruženje i kamera mogu dovesti do nedostajućih ili pogrešno izmerenih vrednosti, što rezultuje manje tačnim modelom. Međutim, primene na otvorenom ne dozvoljavaju potpuno kontrolisanje uslova. Ipak, prilikom formiranja skupa podataka, važno je u obzir uzeti preporuke, te ih poštovati u meri u kojoj to dozvoljava data primena.

4.1. Preporuke za formiranje skupa podataka za fotogrametrijsku 3D rekonstrukciju

Pri formiranju skupa podataka, pre svega je važno utvrditi da je li je objekat dobar kandidat za fotogrametrijsku 3D rekonstrukciju. Određeni tipovi površina, kao što su metalne ili mokre površine, koje imaju jaku refleksiju, otežavaju pronalaženje podudarnih tačaka na različitim fotografijama. Isto važi i za transparentne površine, kao što su staklo ili tečnosti, ili za objekte koji se kreću. Takođe, objekti sa uniformnim površinama nisu naročito dobri kandidati za fotogrametrijsku 3D rekonstrukciju zbog manjka ključnih tačaka. Međutim, projektovanjem različitih šablona na objekat, moguće je postići veštačko formiranje potrebnih ključnih tačaka.

Broj fotografija koji se nalazi u skupu može značajno da varira u zavisnosti od veličine, oblika i tipa objekta koji je predmet rekonstrukcije. Međutim, kako će posedovanje većeg broja fotografija na kojima je vidljiv isti deo objekta iz više različitih uglova povećati verovatnoću da objekat bude tačno reprezentovan, preporuka je formiranje što većeg broja fotografija. Takođe, preporučeno je minimalno preklapanje susednih ili uzastopno načinjenih fotografija od najmanje 60% - 70%.

Kada je objekat previše taman, pronalaženje ključnih tačaka je otežano, a samim tim i 3D rekonstrukcija. Takođe, senke mogu prouzrokovati pojavu tamnih tačaka na modelu ukoliko su vidljive na većini fotografija. Prema tome, veoma važan uticaj na konačan ishod rekonstrukcije ima adekvatno osvetljenje, koje bi trebalo da je nepromenljivo tokom čitavog procesa akvizicije skupa podataka, kao i što manja promena i prisustvo senki, što je teško kontrolisati u primenama na otvorenom. Iz tog razloga, pri formiranju skupa podataka, preporučuje se izbegavanje sunčanih dana zbog izraženijih senki, ali i delimično oblačnih dana zbog čestih promena osvetljenja. Takođe, preporučuje se izbegavanje kiše i snega, zbog mogućeg izazivanja refleksije površina, kao i vetra koji može prouzrokovati pomeranja u sceni. Dakle, preporučuje se formiranje skupa fotografija po oblačnom danu bez kiše.

4.2. Posmatrani skup podataka

U ovom radu, posmatran je skup aerosnimaka dobijen upotrebom *DJI P4 Multispectral* drona. Skup podataka sastoji se iz 59 slika. Slike su snimljene sa preklapanjem od 70 %, pri čemu je prosečna visina letenja u odnosu na početnu tačku iznosila 90 m. Na slici 3 prikazano je nekoliko susednih (uzastopno načinjenih) fotografija iz korišćenog skupa.



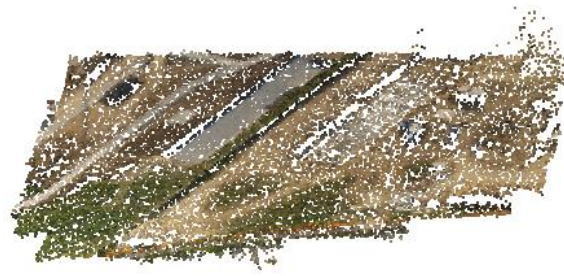
Slika 3. Primer susednih fotografija iz načinjenog skupa

5. REZULTAT

Kako je fotogrametrija pronašla primenu u mnogim oblastima, danas postoji veliki broj dostupnih alata za 3D rekonstrukciju na osnovu slika. Neki od najpopularnijih alata su: *COLMAP*, *Meshroom*, *MicMac*, *Multi-View Environment*, *OpenMVG*, *PIX4D*, *Agisoft Metashape*, itd.

U ovom radu poređeni su rezultati 3D rekonstrukcije oblaka tačaka dobijeni korišćenjem nekoliko navedenih biblioteka. Radi prikaza, na slici 4 i slici 5 formiran je 3D oblak tačaka na osnovu skupa fotografija opisanog u poglavlju 4.2. primenom softvera [5]. Tom prilikom izabran je *Frame camera* model, kako bi bilo omogućeno modelovanje distorzije ulaznih podataka. Kako unutrašnji parametri kamere nisu prethodno uneti, korišćena je automatska estimacija na osnovu ulaznog skupa podataka. Nakon toga, izvršeno je formiranje 3D oblaka tačaka na osnovu početnih podešavanja. Dobijeni 3D oblak tačaka prikazan je na slici 4.

Na slici 5 prikazan je 3D model dobijen dodatnom interpolacijom oblaka tačaka na slici 4.



Slika 4. 3D oblak tačaka rekonstruisan primenom [5]



Slika 5. 3D model dobijen upotrebom [5]

6. ZAKLJUČAK

Izborom adekvatnih detektora i deskriptora ključnih tačaka moguće je uticati na kvalitet 3D rekonstrukcije, kao i na potrebno vreme za obradu snimaka. U tom smislu istraživanja su usmerena ka postizanju rekonstrukcije u realnom vremenu, koja je prikladnija za primene koje zahtevaju brzo dobijanje informacija o karakteristikama scene i orijentaciju na terenu. U datim situacijama SfM tehnike 3D rekonstrukcije obezbeđuju način za efikasno generisanje 2D ortomozaika i ispravnu interpretaciju i merenja na osnovu aerosnimaka, za razliku od alata, npr. [6], koji ne podrazumevaju proces ortorektifikacije i ne obezbeđuju potreban kvalitet fotointerpretacije.

7. LITERATURA

- [1] W. Förstner, B. Wrobel, "Photogrammetric Computer Vision: Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction", Springer, 2016
- [2] R. Hartley, A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", Cambridge UP, 2004
- [3] <https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/book/export/html/1815> (pristupljeno 01.2022)
- [4] L. Abrahamczyk, J. Schwatz, "Forecast Engineering: From Past Design to Future Decision", Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, 2017
- [5] <https://www.agisoft.com/> (pristupljeno 01.2022)
- [6] <https://verticalphotoplacer.github.io/VerticalPhotoPlacer/> (pristupljeno 01.2022)

Kratka biografija:



Jana Kudus rođena je u Somboru 1998. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Biomedicinsko inženjerstvo – Prepoznavanje oblika odbranila je 2020.god. kontakt: janakudus1998@gmail.com

TUNELIRANJE PROTOKOLIMA KOJIMA TO NIJE OSNOVNA NAMENA

TUNNELING WITH PROTOCOLS FOR WHICH THIS IS NOT THE PRIMARY PURPOSE

Dimitrije Salić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Rad obuhvata opis principa procesa tuneliranja i osnovne tipove metoda tuneliranja. Pored toga, sadrži prikaz protokola tuneliranja koji se najčešće koriste u ovu svrhu, sa opisom njihovog načina funkcionisanja, a isto tako i prikaz protokola koji se takođe mogu koristiti u ovu svrhu, iako im to nije osnovna namena. Upravo s tim u vezi, opisani su mogući maliciozni napadi korišćenjem istih, ali i alati pomoću kojih je moguća njihova detekcija i prevencija. Na kraju, detaljno je analiziran primer implementacije tuneliranja korišćenjem upravo jednog od protokola kojem to nije osnovna namena – ICMP protokolom. Prilikom implementacije, korišćen je alat Icmpsh, a spomenuti su i alternativni alati. Odabran je iz razloga što ne zahteva administrativne privilegije da bi se pokrenuo na „žrtvinoj“ mašini i lako je prenosiv.

Ključne reči: Reverzni proksi, Server, Konfiguracija

Abstract – This paper includes a description of the principles of the tunneling process and the basic types of tunneling methods. In addition, it contains an overview of the tunneling protocols most commonly used for this purpose, with a description of how they work, as well as an overview of the protocols that can also be used for this purpose, although this is not their primary purpose. In this regard, possible malicious attacks using them are described, as well as tools that can be used to detect and prevent them. Finally, an example of tunneling implementation is presented in detail using one of the protocols for which tunneling is not the main purpose - ICMP protocol. During the implementation, the Icmpsh tool was used, and alternative tools were mentioned. This tool was chosen because it does not require administrative privileges to be run on the "victim's" machine and is very portable.

Keywords: Tunneling, Protocols, Attacks

1. UVOD

Komunikacija putem Interneta, bilo koristeći računare ili pametne telefone, postala je deo svakodnevice ljudima širom sveta. Zahvaljujući Internetu moguće je komunicirati sa bilo kim, u bilo koje vreme, gde god se osoba nalazila.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željko Vuković, docent.

Opšte su poznate pogodnosti i nove mogućnosti koje je online komunikacija donela ljudima, a bez kojih bi u današnje vreme, čini se, bilo nemoguće živeti.

Informacije koje se prenose putem Interneta, odnosno bilo koja dva digitalna uređaja, prenose se pomoću protokola.

Tema ovog rada su protokoli tuneliranja i primer njihove implementacije. U drugom poglavlju biće opisan uvod u proces tuneliranja i osnovni pojmovi, a takođe biće i istaknuta veza između tuneliranja i VPN-a (Virtual Private Network). U trećem poglavlju opisani su protokoli tuneliranja, kako oni koji se često koriste, tako i oni kojima to nije osnovna namena. Tokom razrade protokola kojima tuneliranje nije osnovna namena, biće takođe navedeni i načini za njihovu detekciju i prevenciju od napada. Četvrto poglavlje sadrži prikaz primera implementacije tuneliranja korišćenjem protokola kojem to nije osnovna namena, dok će peto poglavlje predstavljati zaključak rada.

2. UVOD U PROCES TUNELIRANJA

U fizičkom svetu tuneliranje predstavlja probijanje barijera i prolazak preko terena koji se inače ne može preći. Slično, u računarskom svetu, tuneliranje predstavlja transport podataka kroz mrežu koristeći protokole koje ta mreža ne podržava [1].

Protokol tuneliranja je komunikacioni protokol koji omogućava transport podataka iz jedne mreže u drugu. To uključuje omogućavanje slanja komunikacija privatne mreže putem javne mreže (kao što je Internet) kroz proces koji se naziva enkapsulacija [10].

Podaci koji putuju mrežom podeljeni su na pakete. Paketi se sastoje iz dva dela:

1. Header (zaglavlje) - ukazuje na određište paketa i koji protokol koristi
2. Payload (sadržaj) - predstavlja stvarni sadržaj paketa.

Enkapsulirani paket je u suštini paket unutar drugog paketa. U enkapsuliranom paketu, zaglavlje i sadržaj prvog paketa idu unutar odeljka sadržaja okolnog paketa, pa tako originalni paket sam po sebi postaje sadržaj [1].

Enkapsulacija je korisna za šifrovane mrežne veze. Enkripcija je proces šifrovanja podataka na takav način da se oni mogu dešifrovati samo pomoću tajnog ključa za šifrovanje. Proces dekriptovanja naziva se dešifrovanje. Ako je paket potpuno šifrovan, uključujući i zaglavlje, mrežni ruteri neće moći da proslede paket do njegovog određišta jer nemaju ključ i ne mogu da vide njegovo zaglavlje. Umotavanjem šifrovanog paketa u drugi nešif-

rovani paket, paket može da putuje kroz mreže kao i obično [1].

2.1. VPN (Virtual Private Network)

VPN (Virtual Private Network) obezbeđuje medijum za razmenu podataka preko Interneta ili bilo koje druge javne mreže koristeći tuneliranje [11].

Za stvaranje tunela potrebno je sledeće [11]:

- *Protokol operatera* - odnosi se na mrežni transportni protokol koji podržava tranzitna mreža. Na primer, PPP (Point to Point Protocol) se koristi kao protokol nosioca u tranzitnim mrežama zasnovanim na IP-u.
- *Protokol enkapsulacije* - odnosi se na protokol koji se koristi za enkapsulaciju sadržaja paketa podataka. GRE (Generic Routing Encapsulation), PPTP (Point to Point Tunneling Protocol), L2F (Layer 2 Forwarding Protocol) i L2TP (Layer Two Tunneling Protocol) su primeri protokola za enkapsulaciju.
- *Protokol putnika* - odnosi se na protokol koji koriste mreže koje su povezane tunelom. Koristi ga paket podataka, koji je enkapsuliran pomoću protokola za enkapsulaciju. IP (Internet Protocol) i IPX (Internet network Packet Exchange) su primeri putničkih protokola.

2.2. Tipovi metoda tuneliranja

Tip VPN-a koji koristi preduzeće određuje metod tuneliranja koji se koristi u VPN-u. VPN veza može biti ili Site-to-Site VPN veza, uspostavljena između dve mreže, ili Remote Access VPN veza, između udaljenog klijenta i VPN servera na korporativnom intranetu.

Postoje dve vrste metoda tuneliranja koje odgovaraju ovim VPN vezama, i to su sledeće:

1. **End-to-End tunneling** (slika 1) - povezuje lični računar udaljenog korisnika i VPN server, koji deluje kao gateway između Interneta i korporativne LAN mreže preduzeća. Koristi se u Remote Access VPN vezi. Procedure tuneliranja, kao što su enkapsulacija i dekapulacija podataka, sprovode se na krajnjim tačkama tunela. Softver VPN klijenta enkapsulira pakete podataka pre nego što ih pošalje preko tunela do VPN servera. VPN server dekapulira podatke pre nego što ih prosledi na korporativni LAN [11].

2. **Node-to-Node tunneling** (slika 2) - povezuje gateway uređaje koji se nalaze na ivici dve privatne mreže. Koristi se u Site-to-Site VPN vezi. Gateway uređaj može biti ruter, firewall ili neki sličan uređaj koji deluje kao VPN server. U ovom podešavanju, VPN klijent je udaljeni korisnik koji se nalazi na LAN-u preduzeća. Tunel se proteže od jednog mrežnog prolaza do drugog i ne proteže se do računara udaljenog korisnika. Gateway uređaj na ivici LAN-a enkapsulira podatke primljene sa računara unutar LAN-a i vrši enkapsulaciju pre nego što ih pošalje preko tunela. Gateway uređaj na drugom kraju tunela dekapulira podatke pre nego što ih prosledi na LAN [11].

3. PROTOKOLI TUNELIRANJA

Neki od protokola koji se najčešće koriste za tuneliranje su sledeći:

- IP in IP
- GRE
- OpenVPN

- SSTP
- IPSec
- L2TP

IP in IP je protokol za IP tuneliranje koji enkapsulira jedan IP paket u drugi IP paket. Da bi se enkapsulirao IP paket u drugi IP paket, dodaje se spoljno zaglavlje sa izvornim IP-ijem, ulaznom tačkom tunela, i odredišnim IP-ijem, izlaznom tačkom tunela. Unutrašnji paket je neizmenjen (osim TTL polja, koje se smanjuje). Polja „Ne fragmentiraj“ i „Tip usluge“ treba da se kopiraju u spoljašnji paket. Ako je veličina paketa, uključujući spoljno zaglavlje, veća od MTU putanje, enkapsulator fragmentira paket. Dekapsulator će ponovo sastaviti paket [12].

Generička enkapsulacija rutiranja (GRE) je protokol za tuneliranje koji može da enkapsulira širok spektar protokola mrežnog sloja unutar virtuelnih veza od tačke do tačke ili veza od tačke do više tačaka preko mreže Internet protokola [13].

OpenVPN je sistem virtuelne privatne mreže (VPN) koji primenjuje tehnike za kreiranje bezbednih veza od tačke do tačke ili od lokacije do lokacije u rutiranim konfiguracijama i objektima za daljinski pristup. Implementira i klijentske i serverske aplikacije [14].

Secure Socket Tunneling Protocol (SSTP) je oblik tunela virtuelne privatne mreže (VPN) koji obezbeđuje mehanizam za transport PPP saobraćaja kroz SSL/TLS kanal. SSL/TLS obezbeđuje bezbednost na nivou transporta uz pregovaranje ključa, šifrovanje i proveru integriteta saobraćaja. Upotreba SSL/TLS-a preko TCP porta 443 (podrazumevano, port se može promeniti) omogućava SSTP-u da prođe kroz skoro sve firewall-ove i proksi servere osim preko proverenih veb proksija [15].

Internet Protocol Security (IPSec) je bezbedni paket mrežnih protokola koji potvrđuje autentičnost i šifruje pakete podataka kako bi obezbedio bezbednu šifrovanu komunikaciju između dva računara preko mreže Internet protokola. Koristi se u virtuelnim privatnim mrežama (VPN) [16].

Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP) je proširenje Point-to-Point protokola (PPTP) koji koriste provajderi internet usluga (ISP) da bi omogućili virtuelne privatne mreže (VPN). Da bi se osigurala bezbednost, L2TP mora da se oslanja na protokol za šifrovanje da bi prošao unutar tunela [17].

3.1 Protokoli kojima tuneliranje nije osnovna namena

Kao što je već pomenuto, postoje protokoli koji se mogu koristiti za tuneliranje, iako im to nije osnovna namena. Neki od najpoznatijih su navedeni u nastavku:

1. ICMP (Internet Control Message Protocol)
2. DNS (Domain Name System)

3.1.1. ICMP tuneliranje

ICMP tuneliranje je tehnika napada komandi i kontrole (C2) koja tajno propušta maliciozni saobraćaj kroz odbranu perimetra. Maliciozni podaci koji prolaze kroz tunel skriveni su unutar ICMP echo zahteva i odgovora koji izgledaju normalno [2].

U ICMP datagram se mogu umetnuti različiti tipovi malicioznih podataka, od malih količina koda do velikog enkapsuliranog HTTP, TCP ili SSH paketa. Datagram je sličan paketu, ali datagrami ne zahtevaju uspostavljenu vezu ili potvrdu da je prenos primljen (za razliku od protokola zasnovanih na povezivanju kao što je TCP). ICMP datagrami uključuju odeljak podataka koji može da nosi sadržaj bilo koje veličine [2].

Ipak, svakako da postoje nedostaci kada je u pitanju ova tehnika. Neki operativni sistemi zahtevaju privilegije root ili lokalnog administratora za kreiranje prilagođenih ICMP datagrama, a napadaču može biti teško da stekne te privilegije. Pored toga, ICMP tuneliranje kroz firewall ili rutere za prevođenje mrežnih adresa (NAT) takođe predstavlja izazov, jer ovi uređaji filtriraju ICMP echo odgovore koji nemaju odgovarajući zahtev. U ovim slučajevima, ICMP tuneliranje možda neće biti tako pouzdano kao druge metode tuneliranja protokola [2].

Kada je u pitanju detekcija ICMP tunelskog saobraćaja, ovaj saobraćaj može biti teško otkriti. Softver može legitimno da verifikuje validne mrežne veze pomoću echo poruka koje imaju neuobičajeno opterećenje. Da bi se proverilo da li je sadržaj maliciozan, nešifrovani sadržaji u ICMP porukama mogu se pažljivije ispitati pomoću alata kao što je Wireshark. Treba imati na umu da napadač i dalje može da šifrira podatke kako bi izbegao otkrivanje [2].

Extrahop reveal(x) automatski detektuje ponašanje ICMP tunela tako što identifikuje neobičan broj ICMP echo zahteva koje uređaj šalje tokom vremena, pri čemu svaki zahtev sadrži jedinstveno opterećenje. Normalni ICMP echo zahtevi obično uključuju statički sadržaj koji se ponavlja u više zahteva [2].

3.1.2. DNS tuneliranje

DNS tuneliranje je napad koji je teško otkriti. Ovakav napad usmerava DNS zahteve ka serveru napadača, obezbeđujući im prikriiveni komandni i kontrolni kanal i putanju za eksfiltraciju podataka [8]. DNS tuneliranje prikazano je na slici 10.

DNS je dobar kandidat za uspostavljanje tunela, što je termin za sajber bezbednost za protokolarnu vezu koja enkapsulira payload koji sadrži podatke ili komande i prolazi kroz odbranu perimetra. U suštini, DNS tuneliranje sakriva podatke unutar DNS upita koji se šalju serveru koji kontroliše napadač. DNS saobraćaju je generalno dozvoljeno da prolazi kroz odbranu perimetra, kao što su firewall-ovi, koji obično blokiraju ulazni i odlazni maliciozni saobraćaj [8].

Tipični slučajevi napada uključuju [9]:

- *Eksfiltracija podataka* - sajber kriminalci izvlače osetljive informacije preko DNS-a. Ovo nije najefikasniji pristup za dobijanje podataka sa računara „žrtve“, s obzirom na svo dodatno kodiranje i troškove, ali funkcioniše.
- *Komanda i kontrola (C2)* - sajber kriminalci koriste DNS protokol za slanje jednostavnih komandi za, na primer, instaliranje trojanskog programa za daljinski pristup (RAT).
- *IP-over-DNS tuneliranje* - neki uslužni programi su možda aktualizovali IP stek preko konvencije o reakciji DNS upita. Ovo čini maliciozne akcije jednostavnijim.

DNS tuneliranje koristi DNS protokol za tuneliranje malicioznog payload-a i različitih podataka preko klijent-server modela. Ovo obično uključuje sledeće korake [9]:

1. Sajber kriminalac registruje domen, na primer malsite.com. DNS server usmerava ka serveru sajber kriminalca, gde je instaliran softver za tuneliranje malicioznih softvera.
2. Sajber kriminalac zaražava računar malicioznim softverom, koji prodire u firewall organizacije. DNS zahtevima je uvek dozvoljeno da ulaze i izlaze iz firewall-a, tako da je zaraženom računaru dozvoljeno da šalje upite DNS resolver-u. DNS resolver zatim šalje zahteve za IP adrese serverima najvišeg nivoa i root domena.
3. DNS resolver usmerava upite ka serveru sajber kriminalca, gde se implementira program tuneliranja. Tako se stvara veza između sajber kriminalca i „žrtve“ preko DNS resolver-a. Napadač može da koristi ovaj tunel za zlonamerne ciljeve, kao što je eksfiltracija informacija. Ne postoji direktna veza između sajber kriminalca i „žrtve“, pa je teže ući u trag računaru sajber kriminalca.

Kada je u pitanju detekcija malicioznih DNS napada, ono što predstavlja problem jeste da i tipičan DNS mrežni saobraćaj može biti bučan, što otežava razlikovanje sumnjivih ili neobičnih DNS upita od onih legitimnih [8].

ExtraHop reveal(x) automatski otkriva neobične promene u DNS saobraćaju na osnovu ponašanja uređaja tokom vremena, postavljajući upite koje treba istražiti. Branitelj može istražiti DNS upit sa kartice za otkrivanje [8].

4. PRIMER IMPLEMENTACIJE

Kao što je već pomenuto, osnovna namena ICMP-a je otkrivanje i kontrola problema sa umrežavanjem, tako da se njegova sposobnost da uspostavi kanal podataka između dve mašine često zanemaruje. Štaviše, budući da je ICMP suštinski, dobro uspostavljen deo Internet protokola i protokola koji nije na nivou aplikacije, manje je verovatno da će biti nadgledan tako pažljivo kao što je slučaj sa uobičajenom eksfiltracijom podataka – HTTP, HTTPS, TCP, IMAP itd.

Nakon detaljnog istraživanja, zaključeno je da postoji nekoliko uobičajenih alata za tuneliranje saobraćaja kroz ICMP. Neki od njih su:

1. Icmpsh
2. Ptunnel
3. Icmptunnel

Za implementaciju tuneliranja korišćen je Icmpsh alat, jer ne zahteva administrativne privilegije da bi se pokrenuo na „žrtvinoj“ mašini i lako je prenosiv.

Opisanom implementacijom vršice se tuneliranje sesije reverzne Shell sesije između naše „napadačke“ Linux mašine i Windows 10 mašine „žrtve“, sa sledećim IP adresama:

- Napadač - 192.168.68.113
- Žrtva - 192.168.68.115

Na samom kraju rada detaljno je opisana i prikazana implementacija tuneliranja.

5. ZAKLJUČAK

Tema rada su protokoli tuneliranja, sa akcentom na protokole koji se mogu koristiti u ovu svrhu, iako im to nije osnovna namena. Detaljno je opisan proces tuneliranja, kao i tipovi metoda tuneliranja. Pored toga, opisani su protokoli tuneliranja, sa njihovim prednostima i nedostacima. Takođe, opisani su mogući napadi korišćenjem protokola tuneliranja, kao i načini njihove detekcije i prevencije. Na kraju rada je dat prikaz implementacije tuneliranja korišćenjem ICMP protokola tuneliranja, kojem ovo nije osnovna namena.

6. LITERATURA

- [1] Cloudflare, What is tunneling? | Tunneling in networking (<https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-tunneling/>)
- [2] What is ICMP tunneling and how to protect against it (<https://www.extrahop.com/company/blog/2021/detect-and-stop-icmp-tunneling/>)
- [3] DNS Tunneling – how DNS can be (ab)used by malicious actors (<https://unit42.paloaltonetworks.com/dns-tunneling-how-dns-can-be-abused-by-malicious-actors/>)
- [4] Cloudflare, What is DNS | How DNS works (<https://www.cloudflare.com/learning/dns/what-is-dns/>)
- [5] Working of DNS Server (<https://www.geeksforgeeks.org/working-of-domain-name-system-dns-server/>)
- [6] What is DNS tunneling and how to protect against it (<https://www.extrahop.com/company/blog/2020/dns-tunneling-definition-and-protection/>)
- [7] DNS tunneling: How it works, Detection and Prevention (<https://www.neuralegion.com/blog/dns-tunneling/>)
- [8] 'Setting up a VPN' SkillSoft Press 2002.
- [9] What is GRE tunneling? | How GRE tunneling works (<https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-gre-tunneling/>)
- [10] OpenVPN (<https://openvpn.net/>)
- [11] What is L2TP and how does it work (<https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/Layer-Two-Tunneling-Protocol-L2TP>)
- [12] GRE configuration with IPSec (<https://systemzone.net/mikrotik-site-to-site-gre-tunnel-configuration-with-ipsec/>)
- [13] SSTP (<https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/SSTP>)
- [14] Yamaha, L2TP/IPSec (https://www.yamaha.com/products/en/network/techdocs/vpn/l2tp_ipsec/)
- [15] DNS tunneling (<https://www.cynet.com/attack-techniques-hands-on/how-hackers-use-dns-tunneling-to-own-your-network/>)

Kratka biografija



Dimitrije Salić je rođen 02. februara 1997. godine u Novom Sadu. Godine 2016. upisao je Fakultet tehničkih nauka, odsek Računarstvo i automatika. Oktobra 2020. godine je diplomirao. Iste godine upisao je master studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, odsek Računarstvo i automatika, studijski program Elektronsko poslovanje. Master rad odbranio je u januaru 2022. godine.

IMPLEMENTACIJA HFC MREŽE

IMPLEMENTATION OF HFC NETWORK

Vladan Orašanin, Željko Trpovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

OBLAST - ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Tehnički uslovi i karakteristike neophodni za implementaciju HFC mreže, prenos signala kablovske televizije i interneta putem optičkih i koaksijalnih kablova. Upotreba i integracija aktivne opreme u jedinstven sistem.

Ključne reči: HFC mreža, kablovska televizija, prenos signala, internet.

Abstract – Technical conditions and characteristics necessary for the implementation of the HFC network, transmission of cable television and Internet signals via optical and coaxial cables. Use and integration of active equipment into a single system.

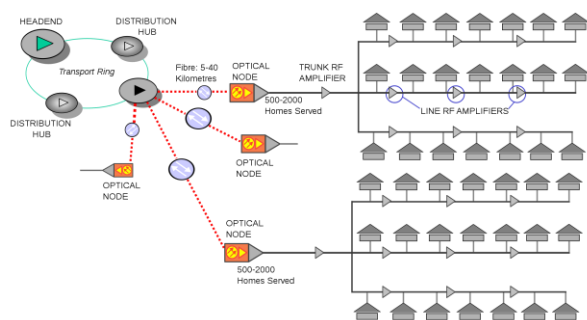
Keywords: HFC network, cable television, signal transmission, internet.

1. UVOD

U ovom radu objašnjena je implementacija hibridne optičko-koaksijalne mreže i na koji način se ovo tehničko rešenje koristi za prenos signala na velikim udaljenostima. Opisana je oprema koja se koristi, kako kod korisnika, tako i u prostorijama i na mreži samog kablovskog provajdera [1, 2]. Uz blok šeme opisanih sistema prikazane su i slike realizacije opisanih sistema na terenu.

2. OPŠTI PREGLED MREŽE

Hibridna optičko-koaksijalna mreža predstavlja mrežnu infrastrukturu izrađenu pomoću optičkih i koaksijalnih kablova. HFC mreža pogodna je za prenos podataka po velikim brzinama (do nekoliko gigabita u sekundi (Gb/s)), kao i za prenos signala do krajnjih korisnika koji su na velikim udaljenostima od Headend-a (do nekoliko desetina kilometara).



Slika 1. HFC mreža [3]

NAPOMENA:

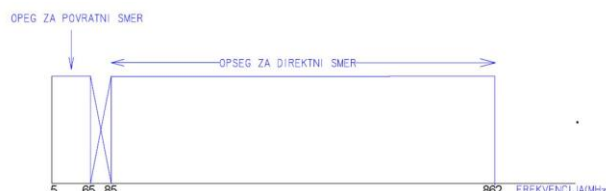
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željko Trpovski, red.prof.

Na slici 1 prikazana je opšta šema i skup elemenata od kojih se sastoji svaka HFC mreža. Vidi se da se signal, putem optičkih vlakana proteže od Headend-a preko HUB-a, koji prekriva manju geografsku oblast, do lokalnog optičkog čvora. Optički čvor je opto elektronski pretvarač, koji signal iz optičkog vlakna tj. svetlost pretvori u signal pogodan za prenos kroz koaksijalnu mrežu. Koksijalna mreža je drugi deo mreže kroz koji se prostire RF signal [3, 4]. Koaksijalna mreža počinje od optičkog čvora, prostire se preko nekoliko pojačavača i dolazi do krajnjeg korisnika.

3. SPEKTAR SIGNALA

Kako je za funkcionisanje servisa koji se nude korisnicima potrebna dvosmerna komunikacija, spektar signala je podeljen u dva dela. Spektar direktnog smera (Downstreams), u kome se nalaze podaci koji se šalju od provajdera ka korisniku, i spektar povratnog smera (Upstream), u kome se nalaze podaci koje korisnik šalje ka provajderu.

Spektar signala u frekvencijskom domenu prikazan je na slici 2. Opseg direktnog smera je od 85MHz do 852MHz (noviji trend je da se spektar direktnog smera nalazi u opsegu od 105MHz do 1000MHz), dok je za povratni deo spektra izdvojen opseg od 5MHz do 65MHz (noviji trend je opseg od 5MHz do 85MHz) [5].



Slika 2. Spektar signala [4]

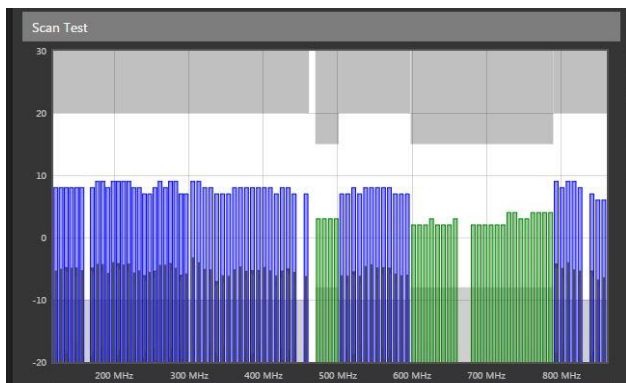
3.1. Spektar signala direktnog smera

Spektar signala direktnog smera je deo spektra preko koga se podaci tj. Servisi, od provajdera, dostavljaju do korisnika. U ovom delu spektra nalaze se analogni TV kanali, Downstreams kanali za internet, VoD kanali i digitalni kanali sa mogućnosti premetavanja u nazad.

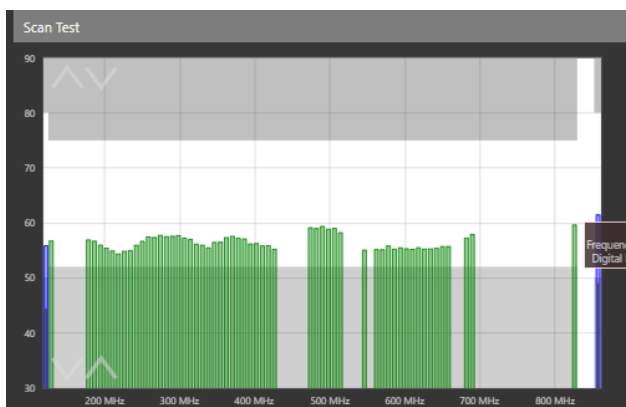
Svaki analogni TV kanal sastoji se od nosilaca za video, audio, boju i ostalih pratećih kanala. U zavisnosti od sistema prenosa koji se koristi izvršen je raspored samih nosilaca unutar analognog kanala.

Jedan analogni kanal može do korisnika da prenese jedan TV kanal, i prostor koji ovaj analogni kanal zauzima u spektru signala je 8MHz. Ovakav raspored kanala, ne ostavlja nam mnogo mesta za digitalne kanale koji se takođe nalaze u spektru. Sa razvojem tehnologije ukazala se potreba za mnogo većim brzinama interneta, što

zahteva i veći broj Downstreams internet kanala. Kako bismo oslobodili prostor u spektru signala za ove kanale, analogni TV kanali su putem neke od digitalnih modulacija utisnuti u digitalni kanal. Nekoliko TV kanala se nalazi unutar jednog digitalnog kanala. Modulacija koja se najčešće koristi jeste QAM256. Izgled spektra signala u kome se nalaze i analogni i digitalni kanali prikazan je na slici 3, dok je izgled spektra u kome se nalaze samo digitalni kanali sa većim broj Downstreams kanala prikazan na slici 4.



Slika 3. Izgled direktnog smera sa analognim i digitalnim kanalima



Slika 4. Izgled direktnog smera sa samo digitalnim kanalima

3.2. Spektar signala povratnog smera

Servisi interneta i videa na zahtev zahtejavaju dvosmernu komunikaciju, odnosno za korišćenje ovih servisa mora se obezbediti komunikacija od korisnika ka provajderu.

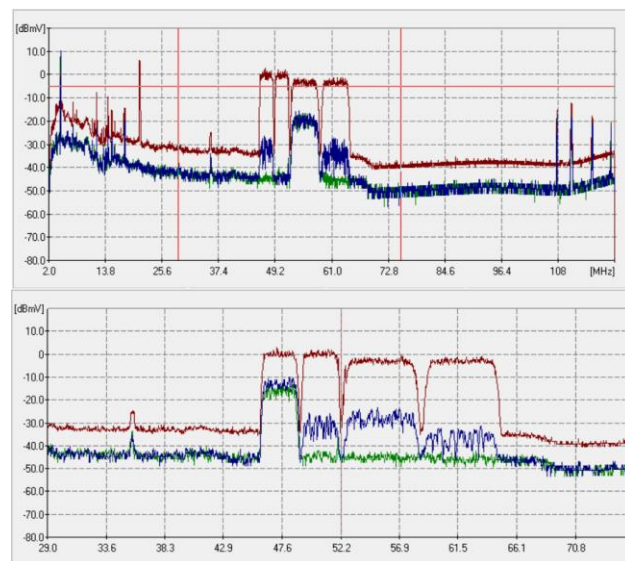
Povratni deo spektra prostire se od 5MHz do 85MHz, i u njemu se nalaze kanali koji obezbeđuju dvosmernu komunikaciju, za one servise za koje je dvosmerna komunikacija potrebna.

Kanali koji se nalaze u povratnom delu spektra koriste QAM64 modulaciju, i njihova širina zavisi od količine podataka koje je potrebno preneti. Obično se koriste kanali širine 1.6MHz, 3.2MHz i 6.4MHz.

Različite širine kanala obezbeđuju različite brzine prenosa, tako na primer kanal širine 6.4MHz ima maksimalnu brzinu prenosa 30Mb/s, kanal širine 3.2MHz ima maksimalnu brzinu prenosa 15Mb/s itd. Prednost užih kanala kanala jeste u njihovoj snazi, jer su u pitanju jači tj. viši kanali.

Ova dodatna jačina obezbeđuje im veću otpornost na šum i omogućava održavanje zahtevanog SNR-a (Signal to noise ratio).

U praksi se užji kanali, postavljaju na nižim frekvencijama, u deo spektra koji je više izložen šumu. Primer rasporeda kanala u povratnom delu spektra prikazan je na slici 5. Ovakav raspored kanala obezbeđuje nam ukupnu brzinu od 90Mb/s, a u slučaju zagušenja moguće je postaviti veći broj kanala.



Slika 5. Izgled povratnog dela spektra

4. STANSKA INSTALACIJA I OPREMA

Kako bi korisnik mogao da koristi internet neophodno je da poseduje instaliran i postavljen kablovski modem, koji ima zadatak da komunicira sa ostatkom mreže kablovskog provajdera, tj. prima podatke od provajdera, i šalje podatke ka provajderu. Za potrebe praćenja digitalne televizije koriste se dekoderi signala.

Dostupne brzine interneta zavise i od specifikacija modema, odnosno broja kanala preko kojih modem komunicira sa ostatkom mreže. Neke od konfiguracija koje se koriste su sledeće:

- 4x4 (4 downstream kanala, 4 upstream kanala)
- 8x4 (8 downstream kanala, 4 upstream kanala)
- 16x4 (16 downstream kanala, 4 upstream kanala)
- 24x8 (24 downstream kanala, 8 upstream kanala)
- 32x8 (32 downstream kanala, 8 upstream kanala)

Neki od modema koji se koriste u praksi prikazani su na slici 6.



Slika 6. Modemi i dekoderi koji se postavljaju kod korisnika

5. PRENOS SIGNALA OD HUB-A DO KORISNIKA

Sistem prenosa putem koga se signal od prostorija provajdera prenosi do krajnjeg korisnika sastoji se od kombinacije optičke i koaksijalne mreže, optičkih čvorova i pojačavača signala. Primer povezivanja takve mreže dat je na slici 7. Na prikazanoj šemi mogu se uočiti osnovni elementi, koji su ključni u dostavljanju signala do korisnika.



Slika 7. Mapa optičkog čvora

Oblast uokvirena tirkiznom bojom predstavlja oblast napajanja aktivne opreme. Unutar te oblasti nalazi se optički čvor ACE8, različite vrste pojačavača, CX3, CXE180, prateća pasivna oprema za spoljnu montažu i kablovi.

Sva aktivna oprema koja se koristi može se napojiti na dva načina, lokalno, naponom od 220V, ili daljinski putem koaksijalnog kabla naponom od 65V.

Daljinsko napajanje omogućava nam da iz jedne, zajedničke tačke, napojimo veći broj aktivnih elemenata, tako što na primar transformatora dovedemo napon od 220V, dok se na sekundaru transformatora pojavljuje napon od 65V.

Da bismo napon mogli spovesti putem koaksijalnog kabla do svih elemenata potreban nam je uvodnik napajanja odnosno LPI (Line power inserter).

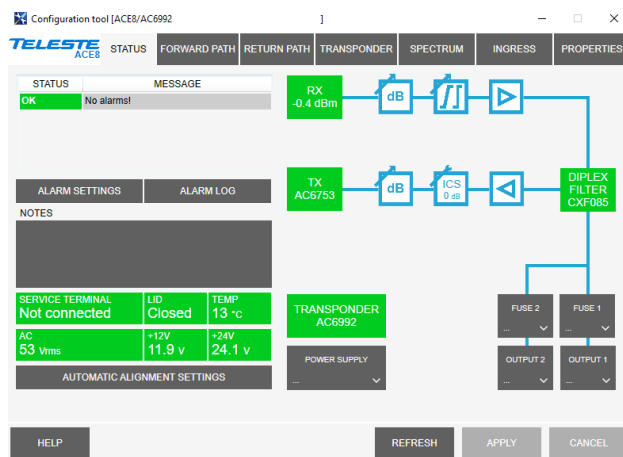
5.1. Optički čvorovi i pojačavači

Optički čvor je opto-elektronski pretvarač koji omogućava prenos signala putem optičkog vlakna na veće udaljenosti. Optički čvor sa jedne strane ima optički signal, dok sa druge strane ima RF signal. Na strani optičkog signala, od čvora do lokalnog HUB-a postoje dva optička vlakna.

Jedno vlakno koristi se za direktni smer, tj. slanje signala od HUB-a ka čvoru i korisnicima, dok se drugo vlakno koristi za povratni smer tj. slanje signala ka HUB-u odnosno od korisnika.

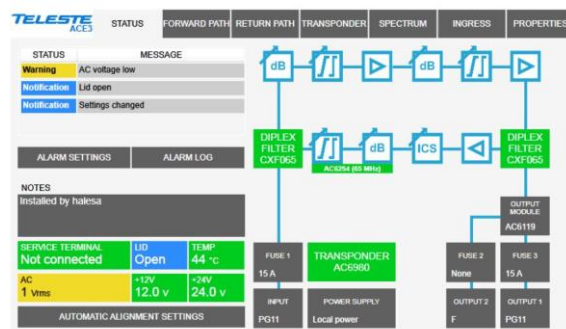
Na strani RF signala, razdvajanje direktnog i povratnog smera dešava se u DIPLEX filterima koji predstavljaju elektronske komponente unutar samog čvora. Pored DIPLEX filtera, od elektronskih elemenata u čvoru imamo optički prijemnik, zadužen za prijem optičkog signala iz HUB-a i njegovo pretvaranje u RF signal, optički predajnik, zadužen za slanje RF signala, njegovo pretvaranje u optički signal i njegovo slanje ka HUB-u i transponder koji nam omogućava daljinski nadzor i upravljanje optičkim čvorom.

Na sliki 8 prikazan je Teleste ACE 8 optički čvor preko programa za daljinski nadzor.



Slika 8. *Prikaz ACE8 optičkog čvora*

Tokom prenosa RF signala kroz kabl, signal je sklon slabljenjima i izobličenjima na različitim frekvencijama, npr. sa povećanjem dužine kabla nivo signala koji se prenosi opada, i to najviše na visokim frekvencijama. Uloga pojačavača jeste da ova izobličenja kompenzuje i na taj način omogući da se željeni signal bez izobličenja dostavi do korsinika. Pojačavači kostiste RF signal i na ulazu i na izlazu. Osnovni parametri pojačavača preko kojih se kontroliše nivo signala jesu Attenuator, equalizer i cable simulator. Na slici 9 prikazan je Teleste ACE3 pojačavač preko programa za daljinski nadzor.



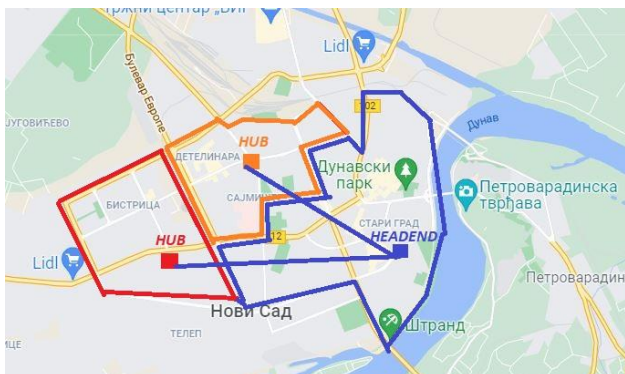
Slika 9. Prikaz ACE3 pojačavača

6. HEADEND I HUB

Početna tačka prenosa signala je HeadEnd. Dalje se signal preko HUB-ova, koji predstavljaju veće koncentracione tačke, šalje prema krajnim korisnicima. Glavna razlika između HeadEnd-a i HUB-a, jeste u prenosu video signala.

Unutar objekata kablovskog provajdera postoje uređaji koji se ponašaju kao generatori signala odnosno generatori usluga koje potrošači koriste. Ovakav generator video signala nalazi se samo u HeadEnd-u, koji se dalje putem HUBova distribuira na veće udaljenosti.

Na slici 10 dat je primer distribucije signala na mapi Novog Sada. Plavom bojom obeležen je HeadEnd i oblast koju ovaj objekat prekriva internet signalom. Crvenom i narandžastom bojom obeležene su oblasti koje dobijaju internet signal iz HUB-ova. Video signal sa druge strane u svim oblastima dolazi iz HeadEnd-a, odnosno korisnici u svim oblastima dobijaju isti signal čija je polazna tačka HeadEnd.



Slika 10. Distribucija internet i video signala

6. ZAKLJUČAK

Kablovski distributivni sistemi nastali su kao potreba ljudi da TV signal prenesu do svih onih koji su zainteresovani da prate određeni program. Razvojem tehnologija i povećanjem potreba krajnjih korisnika, omogućeni su i dodatni servisi koje je bilo moguće preneti na velike udaljenosti.

Razvojem početne ideje, razvila se HFC mreža, koja kombinacijom optičkih i koaksijalnih kablova uspeva da signale prenese na udaljenosti od nekoliko desetina kilometara.

Kako bi se smanjili troškovi održavanja razvijena je FTTH (Fiber to the home) mreža, odnosno mreža koja optičkim kablom dolazi do samog korisnika. Iako je ovakva mreža skupa za izgradnju, ona je omogućila dosta stabilniji prenos signala, veće brzine prenosa i smanjenje troškova održavanja. Tehnologija koja se primenjuje pri gradnji ove mreže jeste GPON (Gigabit Passive Optical Network).

Kako bi bili konkurentni na tržištu, sa platformama koje su omogućile konzumiranje video sadržaja online, kablovski operateri morali su da osmisle nove načine distribucije signala kao i dodatne pogodnosti za svoje korisnike. Tako je omogućeno gledanje televizije putem aplikacije na svim pametnim uređajima, oformljeni su video klubovi iz kojih se sadržaj može konzumirati u bilo kom momentu, a omogućeno je i premotavanje sadržaja u nazad.

7. LITERATURA

- [1] <https://www.infinitydish.com/blog/history-cable-tv-entertainment/>
- [2] <https://cable.org/learn/history-of-cable/>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_fiber-coaxial
- [4] G.Dimitrijević, G.Stajić, D.Krivić, D.Tomić, Lj.Macut, M.Knežević, M.Miletić, M.Matović, M.Racković, M.Mužer, M.Mladenović, N.Jakovljević, N.Drenovac, N.Miljić, V.Kalaba, *Tehnički priručnik za zaposlene u izgradnji i održavanju HFC mreže*
- [5] <https://www.cisco.com/c/en/us/products/video/cbr-series-converged-broadband-routers/index.html>

Kratka biografija:



Vladan Orašanin rođen je u Zvorniku 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Komunikacione tehnologije i obrade signala odbranio je 2022.god.

kontakt: vladan.orasanin96@gmail.com



Željko Trpovski rođen je u Rijeci 1957. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1998. god. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.

Zahvalnica:

Izradu ovog rada pomogao je Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru projekta pod nazivom: „Razvoj i primena savremenih metoda u nastavi i istraživačkim aktivnostima na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije”.

UPOTREBA ELK STEKA TEHNOLOGIJA ZA OBRADU I ANALIZU SISTEMSKIH LOGOVA**USING ELK TECHNOLOGY STACK TO PROCESS AND ANALYZE SYSTEM LOGS**Mihailo Stanarević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – PRIMENJENE RAČUNARSKE NAUKE I INFORMATIKA**

Kratak sadržaj – U radu je predstavljen sistem za parsiranje, obradu i vizualizaciju sistemskih logova. Sistem preuzima logove klijentskih aplikacija, parsira ih i strukturira pomoću Logstash-a, čuva ih u Elasticsearch-u i omogućava njihov prikaz preko Kibana korisničkog interfejsa. Klijentske aplikacije su sistemi koji se „pretplaćuju” na sistem za obradu logova kako bi koristili usluge istog. Pored same obrade logova implementirane su i funkcionalnosti čuvanja sistemskih logova na Amazonov S3 (Simple Storage Service) baket, kao i skidanje istih sa S3.

Ključne reči: Sistemski logovi, Elasticsearch, Logstash, Kibana, Amazon

Abstract – This paper describes and presents a system for parsing, processing and visualisation of system logs. This system receives logs from client applications, parses and structures them using Logstash, persists them in Elasticsearch and visualises them using the Kibana user interface. Client applications are systems that „subscribe” to this system to be able to use its functionalities. Along with the before mentioned functionality this system is able to provide client applications the possibility to upload and download their system logs to/from a system dedicated S3 bucket hosted on Amazon.

Keywords: System logs, Elasticsearch, Logstash, Kibana, Amazon

1. UVOD

S obzirom da se sistemi danas razvijaju velikom brzinom, njihovi obimi se povećavaju itd. povećava se i broj procesa koji se dešavaju unutar njih a koji su veoma bitni po onoga čiji je sistem. Statistike, ishodi i druge metrike procesa od značaja se vrlo često zapisuju kako bi se vodila određena evidencija, nadgledalo stanje sistema u realnom vremenu i reagovalo na potencijalne, nepredviđene probleme u trenutku kada se oni dešavaju.

Ovi sistemski podaci obično se zapisuju u fajlovima koji se zovu log fajlovi. Nedostatak procesa loginga i nadgledanja sistema nalazi se u OWASP Top 10 listi potencijalnih rizika zašto određeni sistemi bivaju kompromitovani a neretko i osetljivi podaci unutar njih. Zbog toga sistemi moraju implementirati određena rešenja kako bi vodili evidenciju stvari koje se dešavaju unutar njih kao i logiku koja će se primeniti kada se prepozna neželjena situacija

NAPOMENA:

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

u kojoj se sistem našao. Takozvana third party rešenja su vrlo često način na koji se ovi problemi izbegnu. Tačno to je tema ovog rada. Ovaj rad će predstaviti rešenje koje, upotrebom ELK stack-a tehnologija (Elasticsearch-Logstash-Kibana), će sistem uz koji se integriše, učiniti sigurnijim kao što će i razvijaćima sistema proces analitike, statistike, pretrage učiniti lakšim.

2. TEORIJSKE OSNOVE TEHNOLOGIJA ELK STEKA

Kako bi najbolje razumeli kako funkcioniše sistem potrebno je detaljno opisati uloge koje su imale tehnologije ELK steka u realizaciji ovog rešenja. Naravno pored opisivanja uloga u ovom odeljku će biti objašnjen način funkcionisanja ovih tehnologija.

2.1. Elasticsearch

Elasticsearch je distribuiran softver za pretragu i analitiku, otvorenog koda, koji je zasnovan na Apache Lucene biblioteci i razvijen u Java programskom jeziku. Elasticsearch je počeo kao skalabilna verzija Lucene radnog okvira za pretragu podataka, koji je takođe otvorenog koda, međutim pomoću njega je razvijena mogućnost da se horizontalno skaliraju Lucene indeksi. Elasticsearch omogućava korisniku da sačuva, pretraži i analizira velike količine podataka veoma brzo i u skoro realnom vremenu vrati (reda milisekundi) odgovore na odgovarajući upit [1].

Dokumenti su osnovne jedinice informacija koji se indeksiraju u Elasticsearch u JSON formatu, format koji je svetski korišćen kao format za međurazmenu podataka. Jedan dokument se može posmatrati kao jedna torka ili jedan red/vrsta u relacionim bazama podataka. Oni predstavljaju jedan određeni entitet tj. ono što se pretražuje. U Elasticsearch-u dokument može predstavljati mnogo više nego samo skup teksta. Može se strukturirati na bilo koji način takav da se može enkapsulirati u JSON format. Ti podaci mogu biti brojevi, karakteri, datumi, objekti koji predstavljaju geo lokacije, boolean vrednosti itd. Svaki dokument poseduje svoj jedinstveni ID kao i svoj format podataka tj. indikator koji ukazuje na to koji entitet taj dokument zapravo predstavlja.

Indeks u Elasticsearch-u predstavlja kolekciju dokumenata koji imaju slične karakteristike. On je entitet najvećeg nivoa apstraktnosti koji je moguće pretražiti u Elasticsearch-u. Indeks se može posmatrati kao jedna tabela u relacionim bazama podataka. Indeks se identifikuje imenom koje se koristi kada se referencira indeks pri operacijama kao što su indeksiranje, pretraga, ažuriranje ili brisanje dokumenata unutar njega.

Invertovani indeks predstavlja mehanizam koji većina današnjih pretraživača koriste. To je struktura podataka koja čuva i mapira sadržaj, kao što su reči ili brojevi, na njihove lokacije u dokumentu ili u setu dokumenata. Prosto rečeno, to je jedna velika struktura poput heš mape koja direktno dovodi od pojedine reči do dokumenta u kojem se pojavljuje. Invertovani indeks zapravo ne čuva stringove direktno već umesto toga razdvaja dokumente na individualne term-ove (reči koje se pojavljuju u dokumentu a mogu biti predmet pretrage) i tada mapira svaki term na dokument unutar kojeg se taj term pojavio.

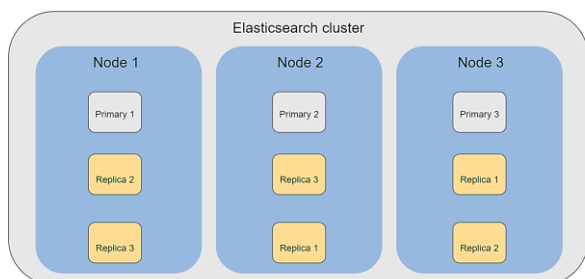
Što se tiče same „fizičke” organizacije Elasticsearch-a kao i njegove mogućnosti za horizontalno i vertikalno skaliranje bitni su sledeći pojmovi: **Klaster (Cluster)**, **Čvor (Node)**, **Shard** i **Replika (Replica)**.

U Elasticsearch-u jedan **Klaster** predstavlja grupu od jednog ili više instanci **Node**-ova (biće reči kasnije o njima) koji su povezani međusobno. Snaga Elasticsearch klastera ogleda se u njegovom distribuiranju zadataka, pretrazi i indeksiranju, kroz sve Node-ove u celom klasteru.

Čvor u Elasticsearch-u predstavlja jedan od servera koji je deo klastera. Jedan čvor čuva podatke i učestvuje u indeksiranju i sposobnosti pretrage klastera unutar kojeg se nalazi. Jedan čvor u Elasticsearch-u može biti konfigurisan kao master čvor (odgovoran za sve operacije koje se unutar klastera dešavaju), kao data čvor (čuva podatke i obavlja odgovarajuće pretrage i agregacije ukoliko ima potrebe) i kao klijentski čvor (služi za omogućavanje komunikacije između klastera i master čvora i komunikaciju sa data čvorom kako bi se podaci mogli učiniti dostupnim).

Elasticsearch omogućava da se odgovarajući indeks podeleli na više delova koji se nazivaju shard-ovi. Svaki **Shard** je sam za sebe potpuno funkcionalni i nezavisni indeks koji se može čuvati na bilo kom čvoru unutar klastera.

Elasticsearch dozvoljava da se kreiraju jedna ili više kopija shard-ova sa odgovarajućim indeksom koji se nazivaju **replika** shard-ovi ili samo replike. U suštini, replika shard predstavlja kopiju primarnog shard-a. Svaki dokument u okviru jednog indeksa pripada primarnom shard-u. Replike omogućavaju redundantne kopije podataka kako bi štatile od hardverskih grešaka i time služile kao backup ukoliko primarni shard ne bude u funkciji.



Slika 2.1. Odnos backend komponenti u Elasticsearch-u

Kao što se vidi na slici 2.1. u okviru ovog Elasticsearch klastera postoje 3 čvora u kojem svaki poseduje svoj primarni shard i po 2 replike primarnih shard-ova susednih čvorova. Ovo rešenje je skalabilno i vertikalno i horizontalno. Ukoliko se desi potreba da se kapacitet klastera poveća moguće je dodati novi čvor u klaster i

primarni shard u okviru njega (horizontalno skaliranje). Tada se postiže povećanje kapaciteta klastera kao i raspodela narednih indexiranih dokumenata indexa koji se nalaze na tim shard-ovima. Samim tim što je dodat novi shard i novi node postiže se još veća paralelizacija prilikom pretrage određenih indexa.

Veći broj shard-ova pretražuje manji obim podataka u isto vreme što rezultuje boljim performansama pretrage. Vertikalnim skaliranjem (kreiranjem više instanci replika podataka) postizemo veću redundansu podataka ali i mogućnost restauracije podataka ukoliko node ili neki od primarnih shard-ova padne, kao i veću dostupnost klastera. Što je klaster vertikalno veći, to je mogućnost gubitka podataka manji.

2.2. Logstash

Logstash je centralna komponenta za protok podataka u Elastic Stack-u koji služi za sakupljanje, obogaćivanje i spajanje svih podataka nezavisno za format podataka ili šemu podataka.

Logstash-ovo procesiranje u realnom vremenu je poprilično moćna karakteristika kada se poveže sa Elasticsearch-om za perzistenciju podataka i Kibana za pregled podataka. Te tri komponente zajedno čine poznati i vrlo rasprostranjeni ELK stack. Logstash dinamički uzima, transformiše, pakuje i šalje podatke ma koliko oni bili kompleksnog formata. Logstash-ova konfiguracija pipeline-a za procesiranje event-ova se sastoji iz 3 glavne komponente: Inputa, Filtera i Outputa [2].

Uloga **inputa** je da definiše ulazni izvor podataka i da organizuje ulazne podatke u vidu niza događaja (event-ova) koje će, kasnije u toku Logstash-ovog pipeline-a, procesuirati i filtrirati filter stadijum pipeline-a [3].

Pomoću **file input plugin-a**, obrađuju se event-ovi iz fajlova, obično tako što se prati sadržaj u istim, ili ukoliko je takvo rešenje potrebno, čitanjem sadržaja fajla od početka. Kako je generalno implementirano na nivou file input plugin-a, jedan događaj (event) se smatra kao jedna linija sadržaja (jednom linijom se smatra sadržaj dok se ne pojavi delimiter za novu liniju ("\n")).

Kako podaci prolaze kroz Logstash-ov pipeline od izvora do medijuma gde će se sačuvati, Logstash **filteri plugin-i** parsiraju svaki event, determinišu imenovana polja kako bi kreirali određenu strukturu iz inače nestrukturiranih podataka [4].

Grok filter plugin parsira nestrukturirani tekst i strukturira ga na način takav da se može i izvršavati smisleni upiti nad njim. Ti logovi su obično vrlo često raznih struktura i formata jer se obično kreiraju za ljudske oči, a od velikog su informativnog značaja za dijagnostiku rada sistema. Logstash sadrži otprilike 120 različitih podrazumevanih šablona (dostupni su na sledećem linku: <https://github.com/logstash-plugins/logstash-patterns-core/tree/master/patterns>).

Grok funkcioniše tako što kombinuje šablone teksta u nešto što odgovara logovima koji su mu predstavljeni. Sintaksa koja definiše ove šablone se sastoji iz sledećih komponenti u sledećem formatu: `%{SYNTAX:SEMANTIC}`. Syntax predstavlja ime šablona koji će odgovarati tekstu koji parsira. Na primer

brojevi će odgovarati NUMBER sintaksi, IP adrese IP sintaksi itd. SEMANTIC, sa druge strane, predstavlja jedinstveni identifikator vrednosti teksta koji je prepoznat i kao takav se čuva na izabrani medijum koji se definiše kroz output deo Logstash-ovog pipeline-a. Sintaksa specificira način na koji će se prepoznati određeni podatak a semantik ga imenuje za lakšu prezentaciju, čuvanje kao i mogućnost izvršavanja upita nad istim.

Output deo Logstash-ovog pipeline-a nagoveštava gde naši parsirani i, sada, strukturirani treba da idu kako bi se sačuvali. Iako je Elasticsearch najrasprostranjeniji i otvara put ka boljoj pretrazi i analitičkim mogućnostima, postoje mnoge druge mogućnosti kuda podaci mogu potencijalno da se rutiraju [5].

2.3. Kibana

Kibana je besplatna i otvorena za sve korisnike frontend aplikacija koja se nalazi na vrhu Elastic stack-a, omogućavajući pretragu i vizualizaciju podataka koji su indeksirani u Elasticsearch-u.

Opštije poznatija kao alat za razne grafike za Elastic stack, Kibana takođe predstavlja korisnički interfejs za nadzor, upravljanje i obezbeđivanje Elastic Stack klastera kao i centralizovani čvor za već kreirana rešenja razvijena na Elastic steku [6].

3. Specifikacija i arhitektura sistema

Sistem za obrađivanje logova je servis koji ima otvoren API za sve klijentske aplikacije koje se na njega „pretplate“. Klijentske aplikacije koje se pretplate dobijaju svoj jedinstven *clientId* i *clientSecret* koje moraju da šalju pri svakom zahtevu. Ukoliko pošalju odgovarajuće informacije, klijentske aplikacije imaju mogućnost da obave sledeće akcije:

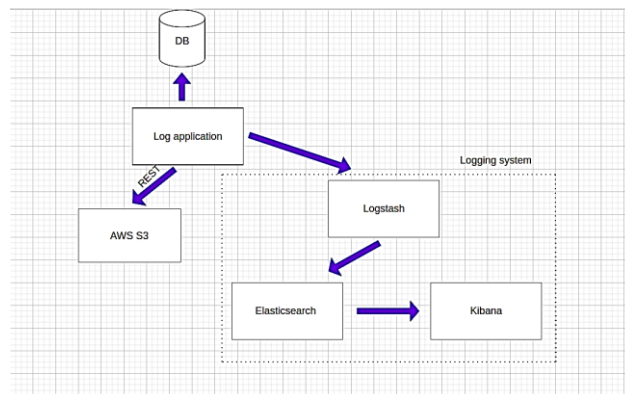
- Obradivanje svojih logova i njihov prikaz na Kibana korisničkom interfejsu
- Otpremanje svojih logova i zipovanih logova na svoj posvećen medijum (S3) za čuvanje podataka te prirode
- Skidanje, na zahtev, fajlova koji su prethodno otpremljeni na S3

Arhitektura sistema se može videti na slici 3.1. Ona se neformalno sastoji iz 3 celine:

- Aplikacije koja ima otvoren API sa kojim klijentske aplikacije mogu komunicirati
- Cloud deo aplikacije kojeg predstavlja S3 baket sistema u kojem svaka pretplaćena aplikacija ima svoje mesto gde može da čuva svoje logove i zipovane verzije logova
- Pozadinski sistem za logovanje koji se sastoji iz ELK steka tehnologija koji obavljaju glavnu logiku parsiranja, strukturiranja i čuvanja strukturiranih logova

4. IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Celokupan sistem je implementiran pomoću već pomenutih tehnologija sa već utvrđenom arhitekturom. U ovom poglavlju ćemo, međutim, proći detaljno kroz izvorni kod (dostupan na linku: <https://github.com/mihailostanarevic/master-rad>) i implementaciju svih navedenih funkcionalnosti u 3. poglavlju.



Slika 3.1. Arhitektura sistema za obradu logova

4.1. Konfiguracija

Spring Boot kada pokreće aplikaciju on prvobitno skenira sve klase i sve klase koje su adekvatno anotirane instancira i obavlja potrebna uvezivanja zavisnosti. Takođe preuzima konfiguraciju koja mu se nalazi u *application.properties* fajlu kako bi ih iskoristio ukoliko su u kodu korišćene ili su potrebne za instanciranje određenih klasa. Unutar ovog fajla definisane su vrednosti poput porta na kom server radi, putanja konteksta servleta, podešavanja potrebna za konekciju sa bazom podataka itd.

Za inicijalno punjenje aplikacije sa podacima korišćen je *data.sql* fajl koji se nalazi u *resources* paketu projekta. *Data.sql* se, s obzirom da je u *application.properties* fajlu definisano da se na podizanje aplikacije rekreira baza, učitava i komande koje se nalaze unutar njega se izvršavaju direktno u shell-u PostgreSQL-a.

Unutar *ContextConfig.java* klase definisani su svi *third party* bean-ovi koji su potrebni da se instanciraju. Neki od njih su *RestTemplate* koji će kasnije služiti za komunikaciju našeg sistema sa eksternim servisima kao i *PasswordEncoder* bean koji koristi *BcryptPasswordEncoder* kako bi heširao lozinke da bi se takve čuvali u bazi.

4.2. Implementacija funkcionalnosti

Bez registracije u okviru sistema za obradu logova, aplikacije neće biti u mogućnosti da obavljaju preostale tri funkcionalnosti. S obzirom da celokupan API sistema ima relativno mali broj funkcionalnosti u nastavku će biti opisana implementacija svih funkcionalnosti zasebno.

4.2.1. Registracija aplikacija

Registracija aplikacija na sistem za obradu logova je najbitnija funkcionalnost u sistemu s obzirom da je on preduslov za mogućnost korišćenja ostatka API-ja sistema. Sam endpoint se nalazi na putanji */api/register* sa POST metodom. Da bi se aplikacija uspešno registrovala potrebno je da pošalje naziv svoje aplikacije koja mora biti jedinstvena u okviru celog sistema

U *RegistrationService* klasi potrebno je generisati odgovarajuće kredencijale za aplikaciju koja se registruje. *ClientId* se generiše tako što se izgeneriše novi UUID (Universal Unique Identifier) i razdeli se po „-“ delimiteru. Na već postojeći string „APP-“ nadodaje se prvi deo UUID-a i tako nastaje *clientId*.

Što se tiče clientSecret-a potrebna je komunikacija sa otvorenim API-jem koji se nalazi na <https://www.passwordrandom.com/>. On generiše string fiksne dužine koji se sastoji iz slučajno izabranih karaktera. Tada, ukoliko je ime aplikacije jedinstveno, obavlja se heširanje clientSecret-a i čuvanje aplikacije u bazu. Aplikacija tad dobija svoje kredencijale nazad u HTTP odgovoru kako bi ih koristila za dalje zahteve.

4.2.2. Čuvanje i skidanje logova sa S3

Funkcionalnosti vezane za S3, iako nisu toliko bitne za ovaj rad, predstavljaju funkcionalnosti koje su dodatne pogodnosti za preplaćene aplikacije pomoću kojih mogu da čuvaju i nakon toga skidaju svoje fajlove sa posvećenog sistemskog S3 baketa. Da bismo mogli integrisati naš sistem sa AWS-ovim servisom S3 potrebno je uvesti AWS-ov SDK (*Software Development Kit*) tako što će se ubaciti odgovarajući dependency u pom.xml fajl aplikacije.

Funkcionalnost za otpremanje fajlova je definisana POST metodom na `/storage/upload` URL-u. Metoda prima niz fajlova koje korisnik želi da sačuva na S3 a vraća indikator uspešnosti/neuspešnosti procesa. Od klijentske aplikacije se traži da pošalje svoje kredencijale u okviru zaglavlja zahteva kako bi se predstavio sistemu. Nakon što se obavi potrebna provera kredencijala poziva se metoda `uploadFile` za svaki fajl koji korisnik želi da sačuva. Tada klijentska aplikacija, kao odgovor, dobija poruku o ishodu procesa čuvanja fajla.

Skidanje fajla sa S3 je dostupno na `/storage/download` URL-u. Na klijentskoj aplikaciji je da pošalje svoje kredencijale i naziv fajla koji želi da skinе. Tada servis generiše takozvani PreSigned URL koji je jedinstven i traje određeni vremenski period (koliko developer odluči). Klijentska aplikacija dobija nazad taj PreSigned URL koji može da poseti i u zavisnosti od tipa fajla će ili započeti skidanje fajla ili će probati da prikaže u browser-u.

4.2.3. Obrada i prikaz logova

Funkcionalnost obrade i prikaza logova dostupna je na endpoint-u `/logs/index`. U okviru zahteva potrebno je da klijentska aplikacija pošalje svoje log fajlove i kredencijale. Prvenstveno se vrši autentifikacija aplikacije na serveru.

Nakon uspešne autentifikacije kopira se sav sadržaj log fajlova na fiksnu lokaciju na serveru. Logstash za to vreme konstantno sluša na promene na toj istoj lokaciji i, kada do nje dođe, on pokušava da iskoristi svoj pipeline da parsira i strukturira (pomoću Grok-a) podatke koji se nalaze u tom log fajlu. Nakon što strukturira podatke, zapakuje ih u event-ove i šalje u svoj konfigurisani output plugin za Elasticsearch, gde se strukturirani dokumenti indeksiraju. Nakon što se podaci indeksiraju, klijentska aplikacija dobija informaciju da su uspešno indeksirani logovi i da su dostupni na linku koji vodi do Kibana Discover screen-a. Tada je klijentska aplikacija u mogućnosti da pregleda svoje logove, da obavlja kompleksnije pretrage i analize nad njima i još mnogo toga.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisano je rešenje koje će potencijalno mnogobrojnim klijentskim aplikacijama omogućiti napredno praćenje, pretragu, analitiku svojih sistemskih logova. Takođe korisnici će sa ovim rešenjem biti u mogućnosti da se rešavaju svojih zipovanih fajlova sa sistemskim logovima sa svojih mašina na posvećeni *cloud* prostor u okviru sistema koji je tema ovog rada.

6. LITERATURA

- [1] Elasticsearch <https://www.knowi.com/blog/what-is-elastic-search/>
- [2] Logstash <https://www.elastic.co/logstash/>
- [3] Logstash Input Plugins <https://www.elastic.co/guide/en/logstash/current/input-plugins.html>
- [4] Logstash Filter Plugins <https://www.elastic.co/guide/en/logstash/current/filter-plugins.html>
- [5] Logstash Output Plugins <https://www.elastic.co/guide/en/logstash/current/output-plugins.html>
- [6] Kibana <https://www.elastic.co/what-is/kibana>

Kratka biografija:



Mihailo Stanarević rođen je 12.05.1997. godine u Novom Sadu. Godine 2016. upisao je Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu, odsek Računarstvo i automatika. 2018. godine upisuje usmerenje Primenjene računarske nauke i informatika, a 2019. godine se opredeljuje za modul Internet i elektronsko poslovanje. U septembru 2020. godine je diplomirao i upisao Master akademske studije.

Kontakt: stanarevic.mihailo10@gmail.com

ХАРДВЕРСКИ ДИЗАЈН СПЕЦИЈАЛНИХ ДЕЛОВА СТОМАТОЛОШКЕ СТОЛИЦЕ**HARDWARE DESIGN OF SPECIAL PARTS OF A DENTAL SEAT:**

Татјана Шестић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду представљен је развој хардвера два функционална блока зубарске столице, централне управљачке јединице и централног напајања столице. Рад прати комплетан развојни пут медицинског уређаја, од избора компоненти, прорачуна енергетске ефикасности, пројектовања електронских кола, до дизајна штампаних плочица. Пројектовање шема и штампаних плочица рађено је у Cadence-овом програмском пакету OrCad.

Кључне речи: Хардвер, медицина, зубарска столица, управљање, напајање, PCB

Abstract – This paper presents the hardware development of two interconnected blocks within a dental chair, central control unit and main power supply unit. The paper follows complete development path of a medical device, from appropriate components selection, thermal calculation, electronic circuits design to the PCB design. Schematic and layout design is done in Cadence OrCad software package.

Keywords: Hardware, medicine, dental chair, control, power supply, PCB

1. УВОД

Стоматолошке столице нису одувек биле елегантне и софистициране као што су то данас. Чак нису ни постојале све до почетка 18. вијека. Ипак трагови постојања стоматологије воде и до старог Египта гдје су комади злата и слоноваче коришћени за замјену зуба који недостају.

Први значајан искорак у развоју столица десио се 1940. године, када је Ritter Dental, један од првих произвођача зубарских столица, дизајнирао столицу која се подизала и спуштала помоћу хидраулике, а први пут су уведени и пљувачница и рендгенски уређај, Слика 1. Увођењем и подесивог наслона за леђа, настаје прва модерна зубарска столица, те почиње серијска производња.

Током посљедњих 300 година зубарска столица је значајно еволуирала од статичне дрвене, до „паметне“ столице која је потпуно подесива, стоји на постољу, и посједује моторе који обезбјеђују снагу за различите механизме зубарске столице.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Рајс, ванр. проф.

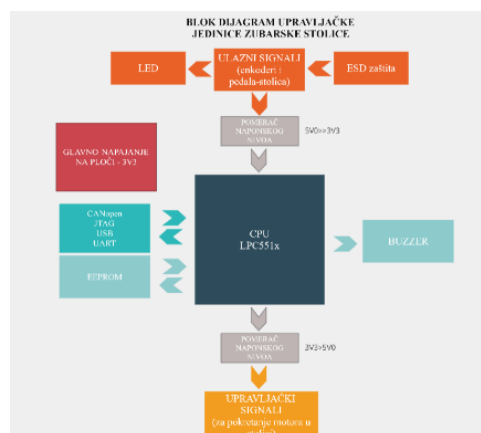


Слика 1. Ritter Dental зубарска столица (1940) [1]

Овај рад састоји се од пет дијелова. Након уводног дијела о самом медицинском уређају, у другом дијелу анализирају се захтјеви хардверских јединица зубарске столице. У трећем дијелу описан је развој хардвера централне управљачке јединице, а у четвртном развој главног напајања зубарске столице. Развој хардвера ова два блока обухвата пројектовање електронских шема, избор компоненти, одговарајуће прорачуне, и на крају дизајн штампаних електронских плочица. У петом дијелу изнесен је закључак.

2. ЦЕНТРАЛНА УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА ЗУБАРСКЕ СТОЛИЦЕ

Ова хардверска јединица омогућава управљање моторима задуженим за помјерање сједишта и наслона зубарске столице помоћу сигнала пристиглих са других плоча. Блок шема ове плоче дата је на Слици 2. У наредним поглављима детаљније ће бити описана архитектура система и функционалност појединачних модула.



Слика 2. Блок шема плоче централне управљачке јединице зубарске столице

2.1. Микроконтролер LPC551x (CPU)

При избору микроконтролера за контролу зубарске столице, главни критеријум мора бити посједовање периферија за рад са протоколима вишег реда базираним на CAN интерфејсу, у овом случају са CANopen протоколом. С циљем развијања CANopen апликације одабран је NXP микроконтролер LPC5512JBD100E у паковању 100-LQFP.

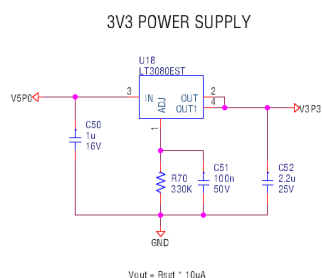
2.2. ESD заштита

Код електронских система намијењених за рад у тешким индустријским условима, као и у случајевима кад сигнали долазе са других плоча, а њихова природа је можда непозната и може оштетити електронске компоненте на штампаној плочи, обавезно треба водити рачуна о заштити системских улаза од транзијентних скокова напона. Сви системи намијењени општој употреби, међу којима су и медицински уређаји, свакако треба да прођу ESD (Electrostatic discharge) тест имунитета регулисан стандардом IEC 61000-4-5.

За заштиту од пренапона најчешће се користи TVS диода, а у овом раду коришћена је SRV05-4.TCT која обједињује 8 управљачких диода ниске капацитивности и једну унидирекциону TVS диоду у истом паковању.

2.3. Напајање 3.3 V – избор регулатора

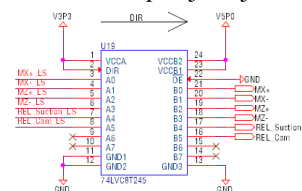
Специфична карактеристика већине NXP микроконтролера са CAN бусом јесте напон напајања од 3.3 V, тако да се од 5 V са плоче главног напајања мотора зубарске столице мора генерисати 3.3 V неопходних за рад, како микроконтролера, тако и осталих електронских кола на плочи централне управљачке јединице. Све компоненте које раде у спрези са микроконтролером морају, такође, да раде на напону од 3.3 V. На основу прорачуна дисипације потврђено је да LDO LT3080 у кућишту SOT-223-3 задовољава услове будуће примјене, Слика 3.



Слика 3. Електрична шема примјене LDO регулатора

2.4. Прилагођавање логичких нивоа улаза и излаза

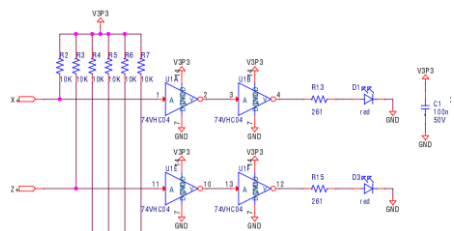
Ова плоча размјењује информације са другим плочама у систему, при чему неке од њих раде на стандардних 5 V. Како не би дошло до уништења уређаја на плочи, потребно је прилагодити напонске нивое помоћу левел шифтера. Коришћен је би-дирекциони левел шифтер SN74LVC8T245. Примјена је дата на слици 4.



Слика 4. Електрична шема примјене левел шифтера

2.5. Управљање LED диодама

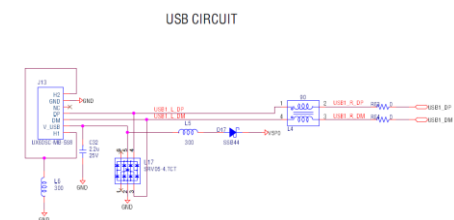
LED диоде се могу управљати и директно са CMOS/TTL логичких излаза микроконтролера, Ардуина или Raspberry Pi-a, преко редног отпорника. Међутим, у комерцијалним апликацијама за управљање LED диодама најчешће се користе посебна интегрисана кола са сопственим напајањем, која дају константну струју на излазу, а могу да дају веће струје него GPIO пинови микроконтролера. На тај начин чувају се излазни портлови контролера од превелике струје коју диоде могу повући. На овој плочи коришћен је инвертер 74VHC04M, који у паковању 14-SOIC има 6 инвертера, може да се напаја са 3.3 Vdc присутних на плочи, а на излазу може дати струју до 25 mA. Начин примјене дат на Слици 5.



Слика 5. Електрична шема управљања LED диодама

2.6. USB интерфејс

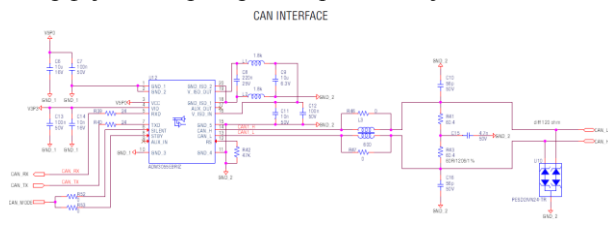
Изабрани микроконтролер пружа могућност програмирања преко следећих комуникационих интерфејса: USB0/1, UART, SPI и I²C. Најпрактичније рјешење свакако омогућава USB интерфејс, прије свега због брзине и једноставног повезивања са рачунаром. У овом раду коришћен је USB 2.0 протокол, и то мини-Б конектор UX60SC-MB-5S8 са 5 пинова. При рутирању брзих диференцијалних сигнала потребно је водити рачуна о „common-mode” шуму и карактеристичној импеданси, која за USB износи 90 Ω. Начин примјене USB-а дат је на слици 6.



Слика 6. Електрична шема кола за USB 2.0

2.7. CANopen интерфејс

CANopen је протокол вишег нивоа заснован на CANbus стандарду. Из потребе за већом брзином комуникације, већим бројем уређаја на мрежи и већим бројем порука, првенствено у области машина које управљају кретањем, 1995. настао је апликациони слој новог протокола – CANopen. Реализација CANopen интерфејса са хардверске стране дата је на Слици 7.



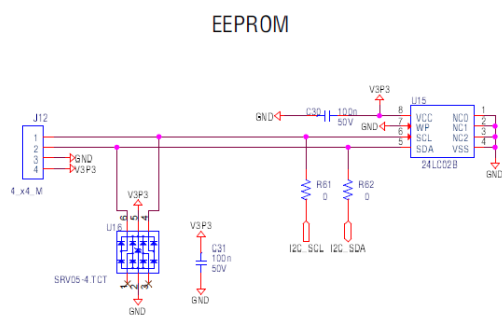
Слика 7. Електрична шема примјене CANopen-а

У раду су детаљно описани комуникациони модели, формат поруке, рјечник објеката, сервиси за пренос порука, као и хардверска реализација. Сваки уређај на мрежи, а може их бити 127, мора посједовати CAN контролер, трансивер и одговарајући конектор. Како би се одржала карактерична импеданса диференцијалних сигнала линије бус-а на крајевима морају бити терминирани отпорницима од $120\ \Omega$, а препоручује се употреба два отпорника од $60.4\ \Omega$ у серији и декаплинг кондензатор између њих.

У овом пројекту одабран је трансивер ADM3055EBRIZ који пружа потпуну изолацију CAN контролера од физичког слоја бус-а.

2.8. EEPROM – примјена на плочи

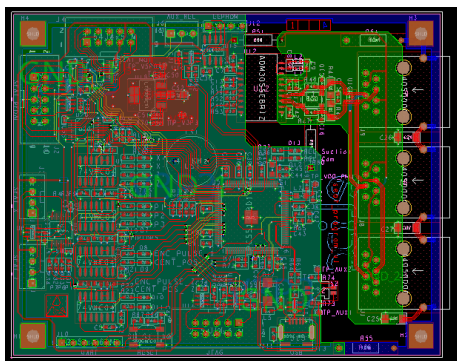
EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) представља избрисиву програмабилну меморију само за читање, а омогућава чување минималне количине података у електронским уређајима и системима као што су штампане плочице. Најчешће се користи за чување калибрационих информација неопходних при сваком укључивању система, јер се подаци не губе кад се спољно напајање изгуби. У овом раду коришћен је серијски EEPROM 24LC02B на бази I²C интерфејса, Слика 8.



Слика 8. Електрична шема примјене EEPROM-а

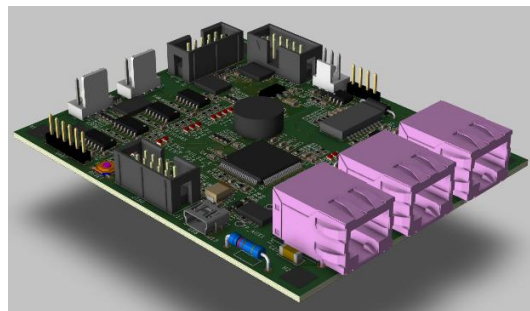
2.9. Физички изглед штампане плоче

Штампана плоча централне управљачке јединице зубарске столице рађена је у 4-слојној штампи како би се брзом USB интерфејсу обезбиједио непрекидан референтни плејн. Посједује 4 монтажне рупе преко којих је везује за метално кућиште зубарске столице и на тај начин уземљава. Слика 9 приказује галванску изолацију CAN трансивера, плејн за одвођење вишка топлоте са регулатора, као и начин рутирања диференцијалних сигнала.



Слика 9. Приказ 4-слојног layout-а

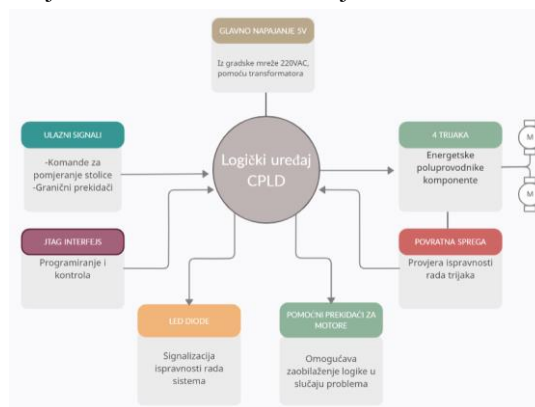
Слика 10 даје тродимензионални приказ штампане плочице централне управљачке јединице.



Слика 10. 3D приказ штампане плоче

3. ГЛАВНО НАПАЈАЊЕ ЗУБАРСКЕ СТОЛИЦЕ

Улога друге плоче из овог рада обухвата контролу линеарних мотора за помјерање столице по x и z осама, уз помоћ команди пристиглих са удаљених дијелова столице, а које прикупља претходно обрађивана централна управљачка плоча зубарске столице. Као прекидачки елемент одабран је тријак, а због прекидања великих струја, потребно је обезбиједити и галванско одвајање високонапонског дијела кола, од нисконапонског остатка кола, као и константну провјеру исправности рада тријака, јер би њихов евентуални пробој могао довести пацијета у столицу у небезбједан положај. Блок шема система дата је на Сlici 11.

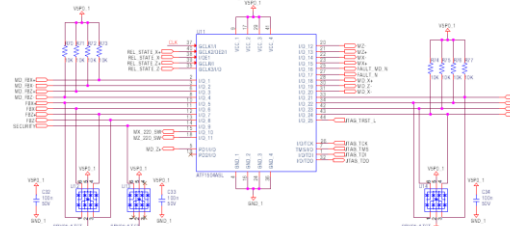


Слика 11. Блок шема плоче главног напајања столице

3.1. Програмабилни логички уређај - CPLD

Хадверски конфигурисани уређаји, као што су програмабилни логички уређаји постају све популарнији због могућих бенефита у смислу замјене логичких функција, могућности брзе израде прототипа, брзине дизајна и процесуирања дигиталних сигнала, при чему PLD може имплементирати исте функционалности као и системи базирани на процесору, само за краће вријеме [2].

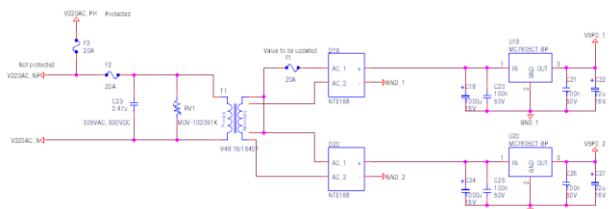
У овом пројекту коришћен је CPLD високих перформанси ATF1504ASL произвођача Microchip, који за свој рад захтијева и екстерни тајмер (нпр. NE555), а програмира се помоћу JTAG-а.



Слика 12. Електрична шема примјене CPLD-а

3.2. Главно напајање на плочи 5V

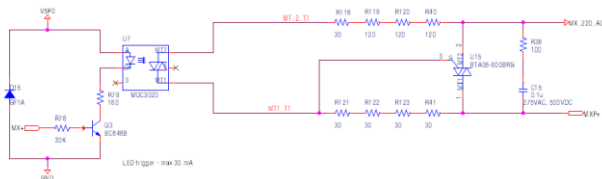
За рад свих јединица система зубарске столице потребно је обезбиједити стабилних 5 V. С обзиром да је из градске мреже доступно 220 V - 50 Hz, да би се добило регулисаних 5 V једносмјерног напона потребно је у коло укључити одговарајућу заштиту, трансформатор, мостни исправљач, одређени филтар, и на крају регулатор напона, који ће на свом излазу давати регулисаних 5 V. У овом раду кориштен је трафо са два секундара, док је за регулатор одабран коло MC7805CT које на свом излазу може дати струју од 1.5 A. Начин примјене приказан је на Сlici 13.



Слика 13. Коло за добијање 5 V из градске мреже

3.3. Управљање моторима унутар зубарске столице

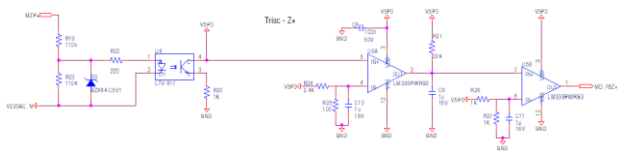
У овом раду за помјерање столице коришћени су линеарни актуатори са асинхроним монофазним „brushless” погонским системом, а раде директно на АС напону из мреже. За стартовање и прекидање рада ових мотора коришћени су тријаци, а за потребе овог пројекта одабран је стандардни тријак BTA06-600BRG, док је виши степен галванске изолације омогућен опто-тријаком МОС3020, Слика 14.



Слика 14. Коло за управљање АС мотором

3.4. Повратна спрега са тријака

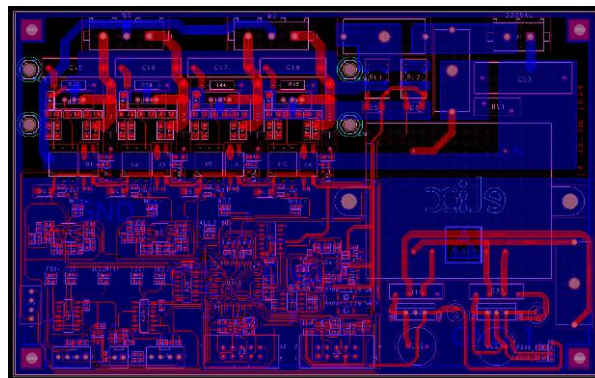
С обзиром да безбједност пацијента у зубарској столици, зависи и од исправног рада мотора за помјерање столице, потребно је константно провјеравати исправност тријака, при чему се упоређују стање на излазу тријака са стањем управљачког сигнала пристиглог логичком уређају – CPLD-у (Слика 15). У случају пробоја тријака, мотори се не би могли зауставити, а тако би се пацијент могао наћи у положају који би могао довести до повреде.



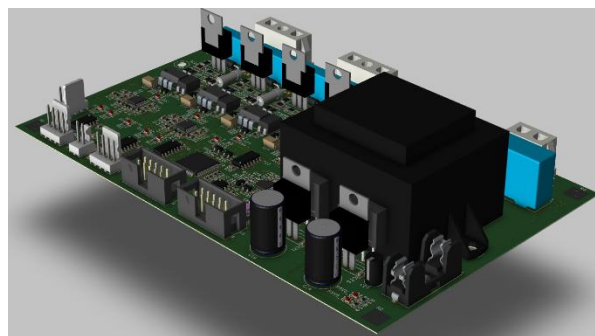
Слика 15. Коло повратне спреге са тријака

3.5. Физички изглед штампане плоче

Ова плоча не посједује брзе интерфејсе, као што је USB, а сходно својој величини и броју компоненти може остати у двослојној форми, с тим што струјне карактеристике захтијевају посебну пажњу у погледу самог рутирања. Изглед layout-а дат је на Сlici 16, а тродимензионални приказ на слици 17.



Слика 16. Приказ 2-слојног layout-а



Слика 17. 3D приказ штампане плоче

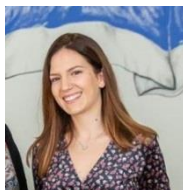
4. ЗАКЉУЧАК

Развој медицинских уређаја представља својеврстан изазов за инжењере електронике, јер од самог осмишљавања архитектуре уређаја, преко избора компоненти и њиховог повезивања у систем, мора се водити рачуна о високо ризичној намјени самог уређаја. Електронски модули пројектовани у овом раду не могу да раде без преосталих блокова у систему зубарске столице, тако да након производње и тестирања функционалности одређених блокова, систем треба повезати у једну цјелину, а затим програмирати микроконтролер и CPLD како би систем радио према стоматолошким захтјевима. Након теста функционалности, овакав уређај мора да прође кроз медицинске стандардизације, у случају зубарске столице то је класа II-а (низак-до средње висок степен ризика), како би добио CE ознаку.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интернет сајт: <https://www.stanleysmiles.com/a-brief-history-of-the-dental-chair-from-wooden-to-smart/>; новембар 2021.
- [2] Grout, I. (2008) *Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs*; ISBN-13: 978-0-7506-8397-5, Elsevier Ltd.

Кратка биографија:



Татјана Шестић рођена је у Прњавору (Република Српска). Факултет техниких наука у Новом Саду, смјер Мехатроника уписује 2015. године, а након дипломирања 2019. године уписује мастер студије из области Електротехника и рачунарство - Примјењена електроника.

IMPLEMENTACIJA DECENTRALIZOVANIH FINANSIJSKIH APLIKACIJA NA ETHEREUM PLATFORMI**IMPLEMENTATION OF DECENTRALIZED FINANCIAL APPLICATIONS USING THE ETHEREUM PLATFORM**Marina Bartulov, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA**

Kratak sadržaj – U ovom radu je opisana implementacija koncepta decentralizovanih finansija na Ethereum platformi u vidu aplikacije za štednju i uzimanje pozajmica. Objašnjene su osnovne blockchain tehnologije, sa fokusom na Ethereum. Objašnjen je pojam decentralizovanih finansija i koje probleme rešavaju.

Ključne reči: blockchain, Ethereum platforma, pametni ugovori, decentralizovane finansije

Abstract – This paper presents an implementation of the concept of Decentralized Finance on the Ethereum platform in the form of an application for lending and borrowing. It explains the basics of blockchain technology, with a focus on Ethereum. It also explains the concept of Decentralized Finance and which problems it solves.

Keywords: blockchain, Ethereum platform, smart contracts, decentralized finance

1. UVOD

Blockchain tehnologija u potpunosti menja način na koji web funkcioniše i njenom pojavom mnoge grane ljudske delatnosti menjaju načine poslovanja i okreću se ka decentralizovanim rešenjima. Jedna od tih oblasti su i finansije. U ovom radu će biti objašnjena blockchain tehnologija sa fokusom na Ethereum platformu i njen uticaj na finansije.

2. BLOCKCHAIN

Da bi se razumeo blockchain potrebno je prvo objasniti šta je to tehnologija distribuirane glavne knjige (eng. *Distributed Ledger Technology - DLT*) i na koji je način povezana sa blockchain-om.

DLT sistemi se mogu definisati kao tip ili podskup distribuiranih sistema [1]. Distribuirani sistemi su računarska paradigma gde dva ili više čvorova koordinisano rade jedni sa drugima kako bi postigli zajednički rezultat. Oni su modelovani tako da ih krajnji korisnici vide kao jednu logičku celinu. Čvor se može definisati kao individualni učesnik u distribuiranom sistemu [2].

DLT sistem predstavlja sistem elektronskih zapisa koji omogućava nezavisnim entitetima da ostvare konsenzus oko deljene „glavne knjige“ (eng. *ledger*) - bez oslanjanja na centralnog koordinatora da obezbedi pouzdanu verziju zapisa. DLT sistemi su dizajnirani da budu sposobni da rade u neprijateljskom (eng. *adversarial*) okruženju, koje je okarakterisano prisustvom malicioznih učesnika u sistemu ili mreži, koji kompromituju sistem koristeći ga na načine za koje nije namenjen. DLT sistemi predstavljaju „konsenzus mašine“, odnosno višeučesničke sisteme u kome učesnici postižu dogovor nad skupom deljenih, validnih podataka, u odsustvu centralnog koordinatora [1].

DLT se odnosi na nov pristup čuvanja i deljenja podataka po mnogobrojnim skladištima podataka (eng. *ledgers*), koji sadrže iste podatke i kolektivno ih održava i kontroliše distribuirana mreža računarskih servera, koji se zovu čvorovi. Blockchain predstavlja poseban tip DLT-a, koji koristi kriptografske i algoritamske metode da kreira i verifikuje stalno rastuću strukturu podataka koja ima oblik lanca blokova sa transakcijama - blockchain - koji vrši funkciju *ledger*-a. Blockchain je određeni mehanizam ili struktura podataka koja koristi kriptografiju ili algoritme da zapisuje podatke na način da ne mogu biti promenjeni [3].

Blockchain je tip baze podataka koja je replicirana po mreži ravnopravnih, nezavisnih učesnika (eng. *peer-to-peer*). Učesnici u mreži postižu konsenzus o promenama stanja deljene baze podataka (tj. transakcijama između učesnika) bez potrebe da veruju u integritet bilo kog učesnika u mreži. Dogovor između učesnika blockchain mreže oko stanja baze podataka se postiže kroz konsenzus mehanizam koji osigurava da svi učesnici imaju isti pogled na deljenu bazu podataka. Kombinacija konsenzus mehanizma sa specifičnom strukturom podataka dozvoljava blockchain-u da reši problem „duplog trošenja“ (mogućnost da se isti digitalni fajl kopira i prenese više puta) bez potrebe za centralizovanom stranom ili centralizovanom glavnom knjigom (eng. *ledger*) koja sprečava korisnike da kopiraju i pošalju isti digitalni fajl dva puta. Blockchain omogućava prenos digitalnih fajlova bez oslanjanja na centralni autoritet. Eliminacija centralnog autoriteta omogućava učesnicima da nezavisno verifikuju da je sadržaj baze podataka koji oni vide u određenom trenutku konzistentan sa onim što vide ostali učesnici. Upravo ta sposobnost učesnika blockchain mreže da nezavisno verifikuju integritet deljenje baze podataka bez oslonca na treću stranu kojoj moraju da veruju je jedna od glavnih vrednosti blockchain-a i razloga za njegovo korišćenje [4].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Sladić, red. prof.

3. ETHEREUM

Ethereum se često opisuje kao „svetski računar“ i predstavlja decentralizovanu računarsku infrastrukturu otvorenog koda koja izvršava programe koji se zovu pametni ugovori. Koristi blockchain za sinhronizaciju i skladištenje promena stanja sistema, zajedno sa kriptovalutom koja se zove ether, koja meri i ograničava troškove resursa za izvršavanje [5].

Svrha i struktura Ethereum-a se znatno razlikuje od blockchain-ova koji su mu prethodili, uključujući i Bitcoin. Svrha Ethereum-a nije da primarno bude mreža za plaćanje digitalnom valutom, nego je on dizajniran da bude programabilni blockchain opšte namene koji pokreće virtuelnu mašinu sposobnu da izvršava kod proizvoljne kompleksnosti. Ether (ETH) je namenjen da bude valuta sa upotrebom vrednošću (eng. *utility currency*) koja se koristi da bi se platila upotreba Ethereum platforme kao svetskog računara [5].

Namena Ethereum-a je da obezbedi blockchain sa ugrađenim Turing kompletnim (eng. *Turing complete*) programskim jezikom koji se može koristiti za kreiranje „ugovora“ koji mogu biti korišćeni za kodiranje proizvoljnih funkcija promene stanja [6].

Ethereum je distribuirana mašina stanja koja prati tranzicije stanja skladišta podataka opšte namene. Ethereum ima memoriju koja skladišti i programski kod i podatke, i koristi Ethereum blockchain da prati kako se ta memorija menja tokom vremena. Ethereum može da učita programski kod u njegovu mašinu stanja i pokrene taj kod, a zatim sačuva rezultirajuće promene stanja na njegov blockchain. Promene stanja Ethereum-a su upravljane pravilima konsenzusa i njegovo stanje je globalno distribuirano [5].

3.1. Pametni ugovori

Pametni ugovor (eng. *smart contract*) je izvršivi programski kod koji se izvršava na blockchain-u kako bi omogućio, izvršio i primenio uslove sporazuma. Glavni cilj pametnog ugovora je da automatski izvrši uslove sporazuma kada su specifični uslovi zadovoljeni. Za razliku od tradicionalnih sistema, pametni ugovori ne zahtevaju poverljivu treću stranu da primeni i izvrši uslove sporazuma. Pametni ugovor ima balans računa (eng. *account balance*), privatno skladište i izvršni kod. Stanje ugovora obuhvata skladište i balans ugovora. Stanje se skladišti na blockchain-u i ažurira svaki put kada se ugovor pozove [7].

U kontekstu Ethereum-a termin „pametni ugovori“ se odnosi na nepromenljive (eng. *immutable*) računarske programe koji se izvršavaju deterministički u kontekstu Ethereum virtuelne mašine (EVM) kao dela Ethereum mrežnog protokola, tj. na decentralizovanom Ethereum svetskom računaru [5].

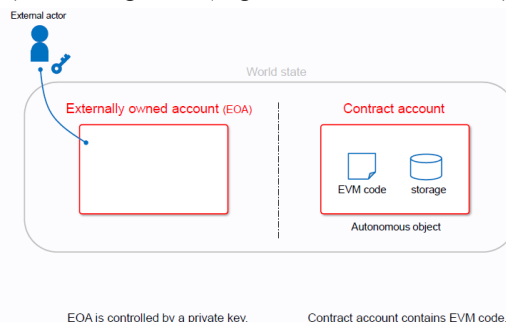
Pametni ugovori se tipično pišu u jeziku visokog nivoa, kao što je Solidity. Ali da bi se mogli izvršiti, moraju biti kompajlirani u bajtkod niskog nivoa koji se izvršava na EVM-u [5].

3.2. Stanje i računi na Ethereum-u

Ethereum stanje se sastoji od objekata koji se zovu računi [10]. Račun predstavlja mapiranje između adrese računa i stanja računa [8].

U Ethereum-u postoje dva tipa računa (eng. *accounts*) (Slika 1) [5]:

- 1) Eksterno posedovani računi (eng. *externally owned account - EOA*)
- 2) Računi ugovora (eng. *contract account - CA*)



Slika 1. Tipovi računa na ethereumu [8]

Eksterno posedovani računi su oni računi koji imaju privatni ključ, a samim tim i kontrolu nad pristupom sredstvima i ugovorima. EOA kontrolišu korisnici, često putem softvera kao što su novčanici [5]. Ovi računi imaju prazan EVM kod vezan za njih [9].

Račun ugovora ima programski kod pametnog ugovora. Ovakav račun nema privatni ključ i posedovan je i kontrolisan od strane logike koga pametnog ugovora [5]. Ovi računi imaju popunjen EVM kod vezan za njih i kao takvi reprezentuju autonomne objekte (eng. *Autonomous Object*), koji imaju adresu i račun vezan za nju; račun će imati za njega vezan popunjen EVM kod i skladište stanja (eng. *Storage State*) tog računa [9].

3.3 Ethereum virtuelna mašina (EVM)

EVM je deo Ethereum-a koja obavlja isporučivanje pametnih ugovora i njihovo izvršavanje. Na visokom nivou, EVM, koja se izvršava na Ethereum blockchain-u, se može zamisliti kao globalno decentralizovan računar koji sadrži milione izvršivih objekata, svaki sa svojim permanentnim skladištem podataka [5].

To je kvazi potpuna Turingova mašina; kvazi dolazi od činjenice da je računanje ograničeno kroz parametar, gas, koji ograničava ukupnu odrađenu količinu računanja [9]. Svi procesi izvršavanja su ograničeni na konačan broj koraka računanja količinom dostupnog gasa za svako izvršavanje pametnog ugovora [5].

3.4 Konsenzus mehanizam

Ethereum trenutno koristi PoW (*Proof-of-Work*) konsenzus mehanizam [10]. Međutim, u procesu je prelaska na PoS (*Proof-of-Stake*) konsenzus mehanizam, koji zahteva da korisnici ulože svoj ETH kako bi postali validatori u mreži. Na taj način oni postaju odgovorni za redanje transakcija i kreiranje novih blokova tako da se svi čvorovi mogu dogovoriti oko stanja mreže [11].

3.5 ERC20 tokeni

Tokeni koji su upravljani na blockchain-u predstavljaju blockchain bazirane apstrakcije koje se mogu posedovati i koje reprezentuju imovinu (eng. *assets*), valutu, prava pristupa i sl. Tokeni su zamenljivi (eng. *fungible*) ako se svaka jedinica tokena može zameniti sa drugom bez bilo kakve razlike u njenoj vrednosti ili funkciji. Nezamenljivi tokeni (eng. *non-fungible*) su tokeni gde svaki reprezentuje jedinstveni opipljivi ili neopipljivi predmet i

prema tome nisu zamenljivi. ERC20 standard je standard za *fungible* tokene i on definiše interfejs za pametne ugovore koji implementiraju token, tako da se svakom tokenu može pristupiti i koristiti ga na isti način [5].

4. DECENTRALIZOVANE FINANSIJE

Decentralizovane finansije (eng. *Decentralized Finance - DeFi*) predstavljaju oblast u razvoju koja obuhvata presek blockchain-a, digitalne imovine (eng. *digital assets*) i finansijskih servisa. *DeFi* je opšti termin za decentralizovane aplikacije (*DApp*) koje pružaju finansijske usluge na blockchain-u, uključujući plaćanja, pozajmice, trgovanje, ulaganje i upravljanje imovinom. *DeFi* servisi tipično rade bez centralizovanog posrednika ili institucije i koriste otvorene protokole koji dozvoljavaju servisima da budu programski iskombinovani na fleksibilne načine [12].

4.1. Problemi koje *DeFi* rešava

DeFi nudi potencijal za rešavanje pet ključnih problema koji su povezani sa tradicionalnim centralizovanim finansijama [13]:

1. **Neefikasnost** - *DeFi* može da izvrši finansijske transakcije sa velikom količinom imovine i malim transakcionim troškovima, što bi generalno bio veliki organizacioni teret za tradicionalne finansije.
2. **Ograničeni pristup** - *DeFi* omogućava svim korisnicima pristup celoj finansijskoj infrastrukturi bez obzira na njihovo bogatstvo i geografsku lokaciju.
3. **Nedostatak transparentnosti** - *DeFi* elegantno rešava ovaj problem kroz otvorenu prirodu dogovora. Pametni ugovori direktno obezbeđuju transparentnost. *DeFi* smanjuje rizik da druga strana neće ispoštovati dogovor.
4. **Centralizovana kontrola** - *DeFi* ovo sprečava tako što prepušta kontrolu otvorenim protokolima koji imaju transparentne i neizmenljive karakteristike.
5. **Nedostatak interoperabilnosti** - Razlog za veliki rast *DeFi* ekosistema je mogućnost lakog kombinovanja *DeFi* proizvoda. Tokenizacija je ključan način na koji se *DeFi* platforme međusobno integrišu.

4.2. Decentralizovane platforme za pozajmljivanje

Pozajmice/kreditni su esencijalan deo *DeFi* ekosistema. Postoji veliki broj različitih protokola koji omogućavaju ljudima da daju i uzimaju pozajmice (eng. *lending & borrowing*) u vidu kripto imovine. Decentralizovane platforme za kredite su jedinstvene po tome što ne zahtevaju od zajmodavaca (eng. *lenders*) i zajmoprimaca (eng. *borrowers*) da otkriju svoj identitet. Svi imaju pristup platformi i potencijalno mogu da pozajme novac ili da obezbeđuju likvidnost kako bi zaradili profit. Kao takve, *DeFi* pozajmice su potpuno bez ograničenja (eng. *permissionless*) i ne zasnivaju se na potrebi za poverenjem [14].

Postoje trenutne pozajmice (eng. *flash loans*) gde zajmoprimac dobije sredstva, koristi ih i isplati sve u sklopu jedne blockchain transakcije. One omogućuju korisnicima da pozajmljuju bez potrebe za zalugom. Takođe, postoje i pozajmice koje su pokrivene zalugom (eng. *collateralized loans*), gde je zalug zaključan u pametnom ugovoru i vraća se kada je dug isplaćen [12, 14].

5. IMPLEMENTACIJA

U ovom poglavlju je objašnjena implementacija decentralizovane finansijske aplikacije za štednju i uzimanje pozajmica na Ethereum platformi.

Implementirana aplikacija je nazvana Decentralizovana banka (eng. *Decentralized Bank*) i pruža mogućnost zajmodavcima da ulože ETH u banku, što predstavlja pozajmljivanje (eng. *lending*), a istovremeno i vid štednje, jer za to dobijaju nagrade u vidu novokreiranih ERC20 tokena aplikacije koji se zove *Decentralized Bank Token* (DBT). Takođe, pruža mogućnost zajmoprimcima da pozajme određenu količinu DBT tokena sa kamatom, a kao zalug moraju da ostave određenu količinu ETH.

Kako je Ethereum javni otvoreni blockchain bez permisija (eng. *permissionless*), tako ne postoji ograničenje kada su u pitanju korisnici koji mogu da koriste ovu aplikaciju. Svako može da koristi aplikaciju ukoliko ima instaliran MetaMask novčanik, koji predstavlja ekstenziju pretraživača, i ukoliko u njemu ima dovoljno ETH.

Svakom korisniku koji se sa svojim novčanikom poveže na aplikaciju su dostupne četiri funkcionalnosti koje pod određenim uslovima može da koristi. U te funkcionalnosti spadaju: ostavljanje depozita prilikom čega korisnik stavlja svoja sredstva na štednju (eng. *deposit*), povlačenje sredstava koja su prethodno ostavljena na štednju (eng. *withdraw*), uzimanje pozajmica (eng. *borrow*) i isplaćivanje pozajmica (eng. *pay off*).

Arhitektura sistema Decentralizovane banke je poprilično jednostavna i ona obuhvata backend deo kojeg čine pametni ugovori koji su isporučeni (eng. *deploy*) na Ethereum blockchain, odnosno na Rinkeby test mrežu, i frontend deo kojeg čini React aplikacije koja je *deploy*-ovana na IPFS (InterPlanetary File System), koji predstavlja decentralizovan sistem za skladištenje sa adresabilnim sadržajem koji distribuira skladištenje objekata po čvorovima u *peer-to-peer* mreži.

Prvo sa čim se korisnik Decentralizovane banke susreće je web pretraživač pomoću koga dobija pristup frontend aplikaciji *deploy*-ovanoj na IPFS. Pretraživač isporučuje sadržaj aplikacije sa IPFS-a nakon što se pristupi specifičnom URL-u (eng. *Uniform Resource Locator*) koji će sadržati heš *deploy*-ovanih resursa. Kada se učita frontend aplikacija u pretraživač, korisnik ostvaruje interakciju sa Ethereum blockchain-on pomoću web3.js biblioteke kroz MetaMask novčanik.

Backend deo čine dva pametna ugovora, koji su pisani u Solidity programskom jeziku. Za razvoj i testiranje pametnih ugovora korišćeni su Truffle radni okvir, Ganache lokalni blockchain i biblioteke za testiranje pametnih ugovora – Chai i Mocha.

Prvi pametni ugovor predstavlja ERC20 token koji je nazvan *Decentralized Bank Token* (DBT). DBT predstavlja token aplikacije Decentralizovane banke koja ga izdaje u vidu nagrada i pozajmica korisnicima sistema prilikom korišćenja njenih usluga. Ovaj pametni ugovor implementira ERC20 standard, kojeg čini određeni skup obaveznih funkcija i događaja koji svaki token mora da implementira. Takođe, ugovor sadrži i dodatne funkcije koje su potrebne za funkcionisanje Decentralizovane banke.

Drugi pametni ugovor je ugovor Decentralizovane banke koji predstavlja glavni ugovor aplikacije koji obavlja svu poslovnu logiku. Ovaj ugovor omogućava pozajmljivanje (eng. *Lending & Borrowing*) i ima četiri funkcije: *deposit*, *withdraw*, *borrow* i *payOff*. Takođe, ima i nekoliko promenljivih stanja koje skladište relevantne podatke o korisnicima sistema.

Funkcija *deposit* omogućava korisnicima da ostave depozit u ETH za štednju (eng. *lending*). Funkcija *withdraw* omogućava korisnicima da podignu svoj ETH koji su stavili na štednju i da za to dobiju nagradu u vidu DBT tokena, koja zavisi od veličine depozita i od vremena koje je proteklo od početka štednje, a gde je godišnji procenualni prinos 10% (Slika 2). Funkcija *borrow* omogućava korisnicima da pozajme DBT tokene pri čemu moraju da ostave zalog u ETH. Zalog mora da bude veći od pozajmljene količine tokena (eng. *overcollateralization*). Funkcija *payOff* omogućava korisnicima da vrate pozajmice pri čemu im se naplaćuje kamata od 10%, tako da nazad dobijaju 90% zaloga.

```
function withdraw() public {
    require(isDeposited[msg.sender] == true,
        'Error, no previous deposit');

    uint userBalance = etherBalanceOf[msg.sender];
    uint depositTime = block.timestamp - depositStart[msg.sender];
    uint interestPerSecond = 31668017 *
        (etherBalanceOf[msg.sender] / 1e16);
    uint interest = interestPerSecond * depositTime;

    msg.sender.transfer(userBalance);
    dbToken.mint(msg.sender, interest);
    earnedTokens[msg.sender] += interest;

    depositStart[msg.sender] = 0;
    etherBalanceOf[msg.sender] = 0;
    isDeposited[msg.sender] = false;

    emit Withdraw(msg.sender, userBalance,
        depositTime, interest, block.timestamp);
}
```

Slika 2. *Withdraw funkcija*

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je opisana implementacija koncepta decentralizovanih finansija u vidu aplikacije za štednju i uzimanje pozajmice, korišćenjem Ethereum platforme kao osnove za razvoj rešenja. Objašnjena je blockchain tehnologija sa fokusom na Ethereum. Objašnjen je pojam decentralizovanih finansija i koje probleme rešavaju. Opisani su korišćeni alati i tehnologije za razvoj, kao i arhitektura sistema i implementacija.

Implementacija ovog rešenja predstavlja uprošćenu verziju jedne realne *DeFi* aplikacije koja ima ulogu decentralizovane banke i obezbeđuje osnovne usluge štednje i uzimanja pozajmice. Jedno od poboljšanja aplikacije bi moglo biti pružanje mogućnosti štednje i ostavljanja zaloga korišćenjem različitih kriptovaluta, a ne samo ETH i DBT tokena.

7. LITERATURA

- [1] Distributed Ledger Technology Systems - A Conceptual Framework, M. Rauchs, A. Glidden, B. Gordon, G. Pieters, M. Recanatini, F. Rostand, K. Vagneur, B. Zhang, <https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/08/2018-10-26-conceptualising-dlt-systems.pdf>
- [2] Mastering Blockchain, I. Bashir
- [3] Distributed Ledger Technology and Blockchain, World Bank Group, <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29053/WP-PUBLIC-Distributed-Ledger-Technology-and-Blockchain-Fintech-Notes.pdf>
- [4] Global Blockchain Benchmarking Study, Dr G.Hileman, M. Rauchs, https://cdn.crowdfundinsider.com/wp-content/uploads/2017/09/2017-Global-Blockchain-Benchmarking-Study_Hileman.pdf
- [5] Mastering Ethereum, A. M. Antonopoulos
- [6] Ethereum Whitepaper, <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- [7] Blockchain-Based Smart Contracts: A Systematic Mapping Study, M. Alharby, A. Moorsel, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1710/1710.06372.pdf>
- [8] Ethereum EVM illustrated, T. Takenobu, https://takenobu-hs.github.io/downloads/ethereum_evm_illustrated.pdf
- [9] Ethereum Yellow Paper, <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>
- [10] Proof-of-Work, <https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pow/>
- [11] Proof-of-Stake, <https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/>
- [12] DeFi Beyond the Hype, <https://wifpr.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2021/05/DeFi-Beyond-the-Hype.pdf>
- [13] DeFi and the Future of Finance, <https://www.prophecydefi.com/resources/media/Harvard-DeFi-and-the-Future-of-Finance.pdf>
- [14] Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets, <https://research.stlouisfed.org/publications/review/2021/02/05/decentralized-finance-on-blockchain-and-smart-contract-based-financial-markets>

Kratka biografija:



Marina Bartulov je rođena u Novom Sadu 1997. god. Osnovne akademske studije završila je 2020. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarstvo i automatika – Elektronsko poslovanje odbranila je 2022. godine.

PREDVIĐANJE CENA KRIPTOVALUTA UPOTREBOM ARIMA I ARIMAKS MODELA

CRYPTOCURRENCY PRICE PREDICTION USING ARIMA AND ARIMAX MODELS

Predrag Glavaš, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Ovaj rad se bavi predviđanjem cena Dogecoin, Šiba Inu i Idena kriptovaluta u kratkom i srednjem roku upotrebom ARIMA i ARIMAKS modela. Podaci su preuzimani sa različitih javno dostupnih izvora, vremenske serije preprocesirane kako bi se osigurala stacionarnost, a parametri modela birani pretragom kombinacija parametara i putem auto arima funkcije. Testirani su različiti intervali predviđanja, a modeli evaluirani Akaike informacionim kriterijumom i greškom u apsolutnom procentu. Za kratkoročna predviđanja ARIMA model je imao grešku od oko 3.5%, ARIMAKS od 7 do 19%, dok su se za srednji rok oba modela pokazala kao loša.

Ključne reči: Kriptovalute, ARIMA, ARIMAKS, Dogecoin, Šiba Inu, Idena

Abstract – This work discusses short and mid term price prediction of Dogecoin, Shiba Inu and Idena cryptocurrencies using ARIMA and ARIMAX models. Data was sampled from various publicly available sources, preprocessed to ensure stationarity and model parameters chosen with grid search and auto arima function. Different prediction intervals were tested and models evaluated using Akaike Information Criterion and mean average percent error. For short term predictions ARIMA model had error of about 3.5%, ARIMAX 7 to 19%. Both models proved inadequate for mid term predictions.

Keywords: Cryptocurrencies, ARIMA, ARIMAX, Shiba Inu, Dogecoin, Idena

1. UVOD

Od izbijanja pandemije Koronavirusa 2020. godine cene kriptovaluta su doživele nagli skok prouzrokovan ulaskom novih investitora na tržište. U takvoj situaciji mnogi investitori su uložili novac u visoko špekulativne kriptovalute i izgubili novac usled velikih fluktuacija u cenama, pa je neophodno naći adekvatan model za njihovo predviđanje kako bi se smanjili ovi gubici.

Dodžkoin kriptovaluta je kreirana 2013. kao šala i ubrzo je doživela veliki skok cene od preko 100 puta zahvaljujući popularnosti u zajednici penjući se na 0.3 dolara od 2020. do sredine 2021 [1]. Šiba Inu, kao još jedna od šala-valuta i direktni konkurent Dodžkoinu kreirana je 2020. i od tada do danas cena joj je porasla preko 2500% zahvaljujući samo velikoj popularnosti u zajednici [2].

NAPOMENA:

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

Idena s druge strane je stvorena sa idejom da podrži novi blokčejn ekosistem gde svaki validator mora dokazati da je čovek rešavajući niz logičkih zadataka u tačno određeno vreme. Iako za razliku od Dodžkoina i Šibe Inu Idena ima tehnološku i upotrebnu vrednost njena cena je sada 2022. niža nego pri puštanju u opticaj 2020 [3].

Cilj ovog rada je da se utvrdi da li je moguće tačno predvideti cene ovih kriptovaluta na osnovu podataka o ranijem kretanju cene, zajednici i razvojnom timu. Podaci o zajednici su smatrani potencijalno bitnim jer Šiba Inu i Dodžkoin duguju svoj uspeh popularnosti u zajednici, a Idena ima veliki tehnološki značaj pa podaci o razvojnom timu mogu biti bitni u tom kontekstu. ARIMA i ARIMAKS modeli su izabrani na osnovu dostupne relevantne literature. U kratkoročnim predviđanjima dan unapred ARIMA model je imao prosečnu grešku oko 3.5% za sve valute, a ARIMAKS od 7 do 19% u zavisnosti od valute. Za srednjoročna i dugoročna predviđanja oba modela su se loše pokazala jer ne uspevaju da tačno predvide amplitudu cenovnih šokova.

U prvom poglavlju dat je uvod sa opisom problema, u drugom opis prethodnih rešenja i najrelevantnijih radova na osnovu kojih je napisan ovaj rad. U trećem poglavlju je opisan način formiranja skupa podataka, u četvrtom metodologija predviđanja korišćena u radu, u petom eksperimenti koji su sprovedeni i njihovi rezultati, a u šestom su dati zaključci rada.

2. PRETHODNA REŠENJA

U radu [4] Amina Azarija testirano je predviđanje cene Bitkoina dan unapred upotrebom ARIMA modela. Podaci su prikupljeni na dnevnom nivou za period od 3 godine, preprocesirani kako bi se osigurala stacionarnost a model testiran nad različitim potperiodima kako bi se proverila njegova robustnost. Utvrđeno je da se ARIMA model zaista može koristiti za predviđanje cene Bitkoina ali da ne može sa tačnošću predvideti velike uspone i padove. Ovaj model bi se mogao poboljšati uvođenjem varijabli sa podacima o zajednici i razvojnom timu.

Rad [5] Đovanija Sklacota proverava uticaj postova na Tviteru na Eterijum i Dodžkoin kriptovalute i testira različite ARIMAKS modele kako bi utvrdio kako dodatne varijable utiču na tačnost predviđanja cene. Podaci su preuzeti za prva 4 meseca 2021. godine skidajući tvitove sa različitim heštagovima vezanim za kriptovalute. Rezultati pokazuju da Tviter ima veliki uticaj na cenu Dodžkoina nasuprot Eterijumu u velikom delu zbog toga što je Dodžkoin vođen isključivo popularnošću u zajednici.

U radu [6], analizirane su makroekonomske vremenske serije, BDP i stopa nezaposlenosti su predviđani upotrebom ARIMA i ARIMAKS modela. Parametri modela su procenjivani preko grafika autokorelacije i parcijalne autokorelacije. ARIMA model se pokazao malo tačniji od ARIMAKS modela sa greškom od 1.77% u poređenju sa 3.78% koju pravi ARIMAKS.

Rad [7] sa konferencije u Pajtonu u nauci bavi se estimacijom parametara ARIMA modela pomoću grafika autokorelacije (ACF) i parcijalne autokorelacije (PACF). Rad sugerše da je pre treniranja modela potrebno utvrditi stacionarnost vremenskih serija kombinacijom KPSS i ADF testova, a ukoliko se utvrdi nestacionarnost potrebno je diferencirati vremensku seriju. Rad takođe sugerše da čisto autoregresivan proces ima ACF grafik koji opada eksponencijalno ili oscilatorno dok se PACF grafik naglo odseca nakon p lagova. Proces čistog pokretnog proseka ima ACF grafik koji se naglo odseca nakon q lagova dok PACF grafik opada eksponencijalno ili oscilatorno. Ovi zaključci su bitni za estimaciju hiperparametara modela.

3. FORMIRANJE SKUPA PODATAKA

Skupovi podataka za sve 3 kriptovalute su formirani preuzimanjem podataka sa Jahu finansija [8], Koingeka [9] i Gugl trendova [10]. Podaci su prikupljeni od najstarijeg dostupnog datuma do 4.2.2022.

Podaci sa Jahu finansija su preuzeti ručno skidanjem fajlova za svaki od kriptovaluta, ovi fajlovi su pružili finansijske podatke finalnom skupu. Podaci sa Koingeka su preuzeti pisanjem Pajton skripte koja poziva negov API za svaki dan u navedenom intervalu i dobavlja podatke o zajednici i razvojnom timu, agregira ih i čuva u jedinstveni CSV fajl. Podaci sa Gugl trendova su preuzeti na isti način kao i oni sa Koingeka, ključne reči koje su pretraživane su „shiba inu coin“, „idena“ i „dogecoin“. Geolokacija pretrage popularnosti je postavljena na globalnu kako bi se dobili rezultati za sve zemlje.

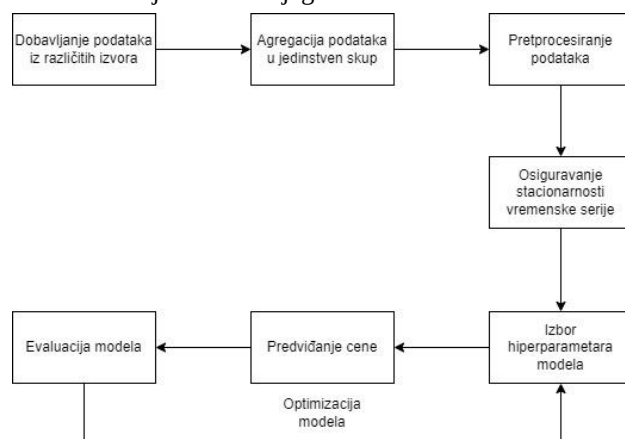
Tokom procesa eksplorativne analize tri dobijena fajla za svaku u valutu su spojena u jedan presecanjem, to je dovelo do pojave rupa u vremenskoj seriji jer za neke dane Gugl trendovi nisu imali podatke. Rupe su popunjavane propagacijom poslednjeg validnog dana unapred. Za neke atribute je takođe utvrđeno da postoje nedostajući podaci, ukoliko je procenat nedostajućih bio manji od 50% nedostajući podaci su popunjavani linearnom interpolacijom.

Ukoliko je za atribut nedostajalo više od 50% uzorka on je izbacivan iz skupa. Analizirana je i korelacija između svih nezavisnih atributa i ciljne promenljive *Close* (cena na kraju dana) kao i između nezavisnih promenljivih međusobno. Korelacija je analizirana za vrednosti od pre 3, 7, 14, 21, 30 i 60 dana. Tamo gde se utvrdilo da je korelacija između nezavisnog i zavisnog atributa manja od 0.6 on je izbacivan iz skupa, a ako je između 2 nezavisna atributa korelacija veća od 0.9 jedan je odabran i izbačen iz skupa. Na ovaj način je za svaku valutu kreirano dodatnih 6 skupova podataka nakon svake analize. U skupove su na kraju dodate varijable standardne devijacije i srednje vrednosti za svaki atribut i to računane za prozore od 3, 7, 14, 21, 30 i 60 dana.

Kako bi se vremenske serije zavisnog atributa mogle predviđati testirana je njihova stacionarnost za svaku valutu pomoću kombinacije KPSS i ADF testova. Ukoliko je bar jedan test pokazao nestacionarnost vremenska serija je smatrana nestacionarnom. Za Dodžkoin i Šiba Inu je utvrđeno da su nestacionarne, dok je za Ideninu vremensku seriju statistika testa bila na granici. Dodžkoin i Šiba Inu vremenske serije su prvo logaritmovane a zatim jedanput diferencirane nakon čega je testovima utvrđena stacionarnost, a za Idenu je odlučeno da se smatra stacionarnom iz bojazni da bi pošto je granici mogla postati prediferencirana.

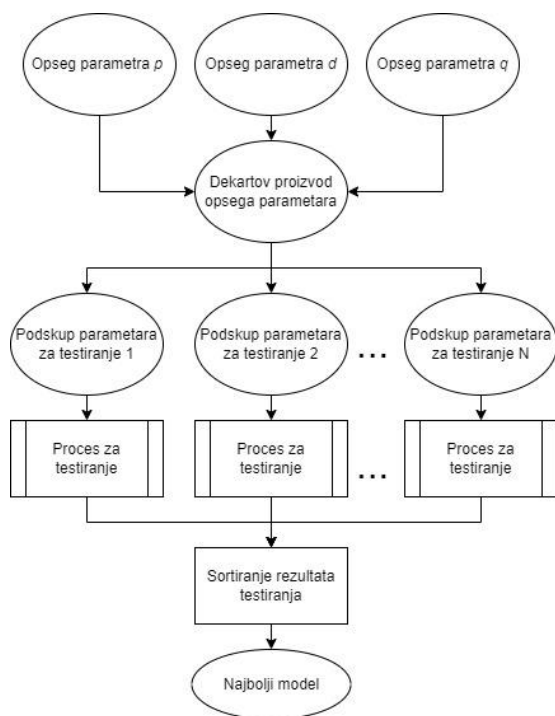
4. METODOLOGIJA

Metodologija za predviđanje cene kriptovaluta korišćena u ovom radu je data na dijagramu sa slike 1.



Slika 1. Dijagram metodologije.

Dobavljanje podataka, agregacija, preprocesiranje i osiguravanje stacionarnosti su opisani u prethodnom poglavlju. Izbor hiperparametara je vršen na 2 načina: prvi je pomoću *auto arima* funkcije u Pajtonu koja testira različite kombinacije hiperparametara modela i vraća onaj koji ima najmanju vrednost Akaike informacionog kriterijuma, a drugi je pretraga različitih kombinacija hiperparametara modela. Pretraga kombinacija hiperparametara je vršena pomoću skripte napisane u Pajtonu kojoj se proslede opsezi hiperparametara ARIMA modela p , d i q a ona onda testira sve kombinacije poredeći grešku koja se pravi pri predviđanju i vrednost Akaike informacionog kriterijuma. Testiranje kombinacija se vrši prvo pravljnjenjem dekartovog proizvoda opsega hiperparametara, a zatim deljenjem tog opsega na n podskupova gde je n broj jezgara procesora na računaru i testiranjem svake kombinacije iz skupa paralelno u jezgrima procesora. Testiranje u jezgrima se vrši treniranjem modela nad delom vremenske serije odabranim za trening, zatim predviđanjem korak unapred i računanjem greške. Nakon računanja greške trening skup se proširuje stvarnom ili predviđenom vrednošću za korak unapred u zavisnosti od eksperimenta, a zatim se model ponovo trenira. Ovaj postupak se ponavlja za svaku vrednost u test podskupu vremenske serije i na kraju se računa greška u apsolutnom procentu i vrednost Akaike informacionog kriterijuma za testirani model. Kada svako jezgro završi testiranje svojih modela oni se svi sortiraju po apsolutnoj grešci i Akaike informacionom kriterijumu u rastućem redosledu i bira se najbolji. Dijagram ove metodologije je dat na slici 2.



Slika 2. Dijagram izbora hiperparametara modela.

Izbor hiperparametara, predviđanje i evaluacija su u nekim eksperimentima rađeni kao zajednički a u nekim kao odvojen proces.

5. EKSPERIMENTI I REZULTATI

Za potrebe ovog rada sprovedena su 4 eksperimenta čiji je opis u nastavku.

U prvom eksperimentu predviđane su cene sve 3 kriptovalute dan unapred upotrebom ARIMA modela. Za potrebe eksperimenta Šiba Inu i Dodžkoin skupovi su podeljeni u odnosu 90:10 za trening i testiranje, a Idena skup u odnosu 70:30. Analizom PACF i ACF grafika dobijeni su upotrebljivi rezultati samo za Idena vremensku seriju koja je pokazala znakove čisto autoregresivnog procesa ARIMA(1,0,0). Hiperparametri modela su određivani i preko pretrage kombinacija, gde je prilikom testiranja modela dodavana stvarna vrednost u trening skup nakon predviđanja. Rezultati prvog eksperimenta su u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati prvog eksperimenta

Kriptovaluta	p	d	q	AIC	MAPE
Idena	1	1	0	1323	3.63%
Dodžkoin	5	1	2	3350	3.34%
Šiba Inu	3	1	0	152	3.59%
Idena ¹	1	0	0	1350	3.74%

¹ Model čiji su parametri određeni preko ACF/PACF grafika

U drugom eksperimentu predviđana je cena kriptovalute više dana unapred upotrebom ARIMAKS modela. Hiperparametri modela su birani pomoću *auto arima* funkcije, a kao prediktivne varijable korišćene su vrednosti promenljivih od pre 3, 7, 14, 21, 30 i 60 dana. Takođe su i testirani različiti odnosi podele skupova za trening i test i to 70:30, 80:20 i 90:10. Rezultati eksperimenta su dati u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati drugog eksperimenta

Valuta	Period laga	p	d	q	AIC	MAPE
Dodžkoin	3 dana	4	0	2	-7955	7.12%
Dodžkoin	7 dana	1	0	3	-7492	8.75%
Idena	3 dana	1	0	0	-2631	17.37%
Idena	7 dana	2	0	1	-2624	18.84%
Šiba Inu	3 dana	1	0	0	-10497	7.15%
Šiba Inu	7 dana	1	0	0	-10463	14.89%

U trećem eksperimentu je testirano predviđanje sve 3 kriptovalute više dana unapred upotrebom ARIMA modela. Hiperparametri su određeni kao i u prvom eksperimentu uz to da je tokom testiranja predviđena vrednost dodavana u trening skup nakon svakog predviđanja umesto stvarne. Rezultati eksperimenta su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati trećeg eksperimenta

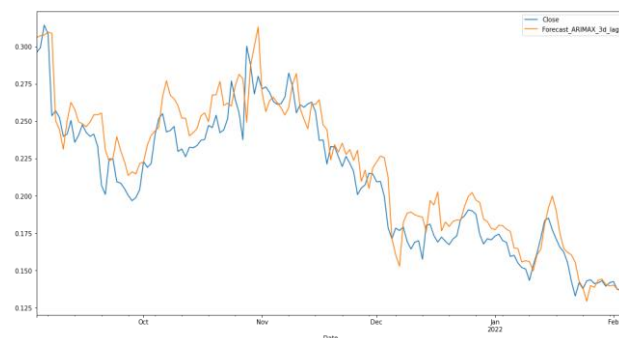
Valuta	Period	p	d	q	AIC	MAPE
Dodžkoin	155 dana	5	1	6	3399	40.55%
Idena	163 dana	4	0	4	1415	14.63%
Šiba Inu	29 dana	8	1	7	173	18.35%

U četvrtom eksperimentu testirano je predviđanje sve 3 kriptovalute dan unapred upotrebom ARIMAKS modela. Za predviđanje su korišćene srednje vrednosti i standardne devijacije varijabli računate za prozore od 3 i 7 dana. Skupovi su podeljeni za trening i testiranje u istim odnosima kao u eksperimentu 1. Za određivanje hiperparametara modela korišćena je *auto arima* funkcija. Rezultati četvrtog eksperimenta su dati u tabeli 4.

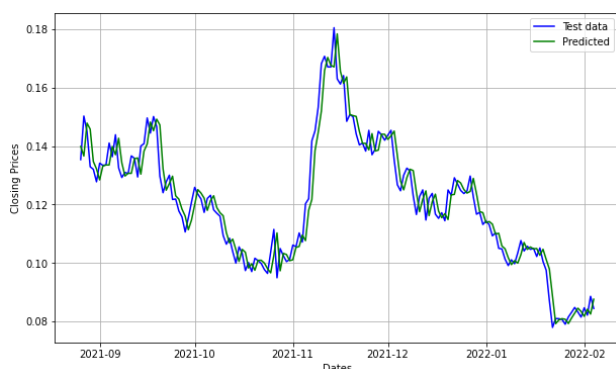
Tabela 4. Rezultati četvrtog eksperimenta

Valuta	Period laga	p	d	q	AIC	MAPE
Dodžkoin	3 dana	1	0	0	-8418	6.21%
Dodžkoin	7 dana	2	0	3	-8351	12.73%
Idena	3 dana	1	0	0	-2132	7.46%
Idena	7 dana	2	0	1	-2119	12.38%
Šiba Inu	3 dana	1	0	0	-10493	6.46%
Šiba Inu	7 dana	1	0	0	-10496	10.50%

Najbolji rezultati kod ARIMA i AIRMAKS modela za kratkoročno predviđanje su dobijeni sa modelima ARIMAKS(1,0,0) za Dodžkoin dan unapred (slika 3) i ARIMA(5,1,2) za Dodžkoin dan unapred (slika 4).



Slika 3. Dijagram predviđanja cene Dodžkoina ARIMAKS modelom.



Slika 4. Dijagram predviđanja cene Dodžkoina ARIMA modelom.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljeno kratkoročno i srednjeročno predviđanje cena 3 kriptovalute Dodžkoin, Šiba Inu i Idena upotrebom ARIMA i ARIMAKS modela. Testirani su različiti odnosi podele skupova za trening i test i različite kombinacije hiperparametara modela.

Analiza grafika autokorelacije i parcijalne autokorelacije se pokazala nedovoljno pouzdanom u slučaju Šiba Inu i Dodžkoina dok je kod Idene njome dobijen model skoro isto tačan kao i onaj dobijen pretragom kombinacija hiperparametara. Pretraga kombinacija hiperparametara se pokazala dosta pouzdanom ali i znatno sporijom jer je trajala u proseku više od 25 časova za sve 3 kriptovalute. Iako je paralelizacija procesa pretrage dosta ubrzala stvari, pojavilo se usko grlo jer su modeli višeg reda koji se najduže treniraju završili u poslednja 2 jezgra procesora i nisu ravnomerno raspoređeni.

Pri podeli skupova za trening i test potrebno je obratiti pažnju da veliki skokovi i padovi cene budu sadržani u trening skupu jer i ARIMA i ARIMAKS modeli ne mogu adekvatno da predvide amplitude takvih cenovnih šokova. Prilikom analize korelacije promenljivih ARIMAKS modela potrebno je uzeti u obzir njihovu vrednost od pre najviše 7 dana jer su raniji periodi pokazali veoma slab uticaj, a modeli trenirani sa tim vrednostima slabu tačnost.

Uočeno je da oba modela prilikom predviđanja dan unapred daju grafike predviđanja pomerene blago unapred. Ovo može biti posledica toga da modeli ne mogu zaista da uhvate cenovne oscilacije već samo pokušavaju predviđanje na osnovu trenda od par dana unazad.

Oba modela pri dugoročnim predviđanjima prave velike greške i čini se da ne mogu biti korišćeni u tu svrhu. ARIMA model kod dugoročnih predviđanja opisanih u

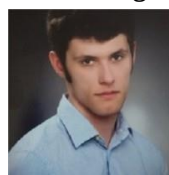
eksperimentu 3 daje grafik nalik na linearnu regresiju i ne može uopšte da uhvati trend kretanja iako se to ne bi reklo samo gledajući prosečnu grešku.

Za moguće pravce nadogradnje predlaže se poređenje ARIMA modela i linearne regresije za predviđanje više dana unapred kako bi se utvrdilo koliko su slični. Predlaže se i pokušaj predviđanja na nedeljnom, mesečnom i godišnjem nivou računanjem proseka dnevnih podataka za nedelju, mesec i godinu dana.

7. LITERATURA

- [1] Chohan, Usman W. "A history of Dogecoin." *Discussion Series: Notes on the 21st Century* (2021).
- [2] <https://shibatoken.com/> (pristupljeno u maju 2022.)
- [3] <https://docs.idena.io/docs/wp/summary/> (pristupljeno u maju 2022.)
- [4] Azari, Amin. "Bitcoin price prediction: An ARIMA approach." arXiv preprint arXiv:1904.05315 (2019).
- [5] Scalzotto, Giovanni. "Social Media Impact on Cryptocurrencies." (2021).
- [6] Peter, Đurka, and Pastoreková Silvia. "ARIMA vs. ARIMAX—which approach is better to analyze and forecast macroeconomic time series." *Proceedings of 30th international conference mathematical methods in economics*. Vol. 2. 2012.
- [7] Mahan, Margaret & Chorn, Chelley & Georgopoulos, Apostolos. (2015). White Noise Test: detecting autocorrelation and nonstationarities in long time series after ARIMA modeling. 10.25080/Majora-7b98e3ed-00f.
- [8] <https://finance.yahoo.com/> (pristupljeno u maju 2022.)
- [9] <https://www.coingecko.com/> (pristupljeno u maju 2022.)
- [10] <https://trends.google.com/> (pristupljeno u maju 2022.)

Kratka biografija:



Predrag Glavaš rođen je u Beogradu 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektronsko poslovanje odbranio je 2022. god.

kontakt: pedjaglavas98@gmail.com

ОДРЕЂИВАЊЕ РАСА ПАСА И МАЧАКА УПОТРЕБОМ ДУБОКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА**DETERMINING DOG AND CAT BREEDS USING DEEP LEARNING***Драгана Грбић, Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – У раду су предложена два приступа решавању проблема одређивања раса паса и мачака. Први представља класификацију у једном кораку у којем се одмах одређује раса животиње. Други представља класификацију у два корака – у првом према врсти животиње, а у другом према раси. Основу оба приступа представља употреба конволуционих неуронских мрежа, а код другог се користи и ResNet50 архитектура. Код оба приступа испитан је утицај примене активног учења.

Кључне речи: класификација слике, конволуционе неуронске мреже, активно учење, ResNet

Abstract – This paper proposes two approaches to solving the problem of determining dog and cat breeds. The first one is a one-step classification in which the breed is immediately determined. The second one represents the classification in two steps - in the first according to the species, and in the second according to the breed. Both approaches use convolutional neural networks and the second one also uses ResNet50 architecture. In both approaches, the impact of the application of active learning was examined.

Keywords: image classification, convolutional neural networks, active learning, ResNet

1. УВОД

Људи доста времена посвећују својим кућним љубимцима, међу којима су пси и мачке једни од најпопуларнијих. Ово је потврђено великим бројем друштвених мрежа које се баве том тематиком, као што су *BarkHappy* [1], *Dokonoko* [2] и *Catser* [3]. Није реткост да власници паса и мачака мисле и погрешно објављују о раси свог љубимца. Зато би постојање аутоматизованог и поузданог начина да се одреди раса љубимца било од великог значаја за њих.

Проблем одређивања раса паса и мачака представља вишекласну класификацију слике, која је изазовна из више разлога.

Први лежи у чињеници да унутар једне расе паса или мачака могу постојати велике разлике по питању изгледа животиње. Некада су те разлике довољне да се уоче подрасе.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Јелена Сливка, ванр. проф.

Други лежи у чињеници да слике паса и мачака креирају људи са различитим апаратима, умећима фотографисања и у разним ситуацијама. Стога, слике могу бити изузетно варијабилног квалитета, што по питању резолуције, осветљења и изоштрености, то и у погледу положаја и израза лица животиње на њој.

У овом раду предложено је решење проблема одређивања три расе паса и три расе мачака, које се заснива на класификацији слике употребом конволуционих неуронских мрежа и ResNet50 мреже. У циљу креирања робусног система који може решити други од проблема наведених изнад, примењена је техника аугментације података, коришћењем различитих трансформација слике. Додатно, ради смањења броја слика потребних за тренирање неуронских мрежа, а уз очување или побољшање перформанси, испитана је и примена активног учења.

У другом поглављу описан је скуп података коришћен за израду решења. У трећем поглављу описане су коришћене методе и технике. У четвртном поглављу дат је опис предложеног решења. У петом поглављу приказани су остварени резултати предложеног решења и анализиране његове грешке. У шестом поглављу набројани су најважнији закључци и наведени могући правци даљег развоја.

2. СКУП ПОДАТАКА

За потребе развоја предложеног решења коришћен је *The Oxford-IIIT Pet Dataset* [4] који садржи укупно 7,349 слика паса и мачака. Од тога су 4,978 слике 25 раса паса, а 2,371 слике 12 раса мачака. За сваку расу присутно је по 200 слика. Свака слика у скупу аотирана је лабелом назива расе и координатама правоугаоника који уско уоквирује главу животиње.

Од укупног броја раса за потребе развоја и тестирања предложеног решења искоришћене су слике за 3 расе паса и 3 расе мачака. Одабране расе паса су *Basset*, *Leonberger* и *Samoyed*, а одабране расе мачака су *Persian*, *Egyptian Mau* и *Siamese*.

3. КОРИШЋЕНЕ МЕТОДЕ И ТЕХНИКЕ

Технике машинског учења коришћене за имплементацију предложеног решења су аугментација података, активно учење и неуронске мреже. Аугментација података и активно учење искоришћени су за креирање погоднијег обучавајућег и тестног скупа, а неуронске мреже за креирање модела који ће вршити класификацију.

3.1. Аугментација података

Како би се добио робуснији модел, а и надоместио мали број слика по расама, над одабраним скупом података примењена је аугментација података. Аугментација искоришћена у предложеном решењу састоји се из три фазе.

У првој фази се читавају слике и њихове анотације. Из анотације се извлаче координате правоугаоника који уско уоквирује главу животиње. Користећи те координате исеца се део који садржи главу и креира нова слика величине 224x224.

У другој фази се над новим сликама примењује низ трансформација. То су хоризонтално окретање, ротација улево и удесно до 15 степени, промена осветљености у опсегу од 0.7 до 1.4 (где вредност испод 1 представља потамњење, а вредност изнад 1 посветљење слике), исецање до 10% хоризонтално и вертикално и зумирање у опсегу од 0.95x до 1.25x.

У трећој фази се над око 30% преудонасумично одабраних трансформисаних слика примењује додатна *Gaussian Blur* трансформација. Димензије кернела којим је извршено замућење слика су 7x7.

На слици 1 приказани су примери слика добијених применом описаног поступка. Након што је из иницијалног скупа података издвојен обучавајући скуп и над њим примењена описана аугментација, добијен је коначан тренинг скуп од 6,264 слика, где за сваку расу животиње постоји по 1,044 слика.



Слика 1. Слике добијене аугментацијом података

3.2. Активно учење

Активно учење је техника полунадгледаног учења чији је циљ смањење података потребних за тренирање модела машинског учења, а уз очување или побољшање перформанси [5]. Суштина активног учења лежи у итеративном одабиру оних података који су најинформативнији за дати модел, односно из којих он може највише научити.

Главни проблем који се мора решити ради успешне примене ове технике јесте начин на који се за одређени податак мери његова информативност. Ради тога, може се користити низ различитих метрика, од једноставних као што је насумичан одабир, до софистичанијих решења. У овом раду испитан је утицај четири различите метрике – *BvSB*, *Bernoulli entropy* са своје две *Bavg* и *Bmax* варијанте и *EP Measure*.

Поступак технике активног учења искоришћен у овом раду састоји се из следећих корака:

1. издвајање псеудонасумично одабраног подскупа S из одговарајућег тренинг скупа U , где величина подскупа износи 20% укупног скупа
2. подела скупа S у односу 90-10 на тренинг и валидациони и тренирање модела у $30 - 5 \times i$

епоха на њему, где i представља тренутну итерацију активног учења

3. примена модела на скуп U
4. рангирање предикција употребом одговарајуће метрике и њихово сортирање по њеној вредности
5. одабир првих N слика и њихово пребацивање у скуп S
6. понављање корака 2-5 у M итерација

Након што се процес активног учења заврши, крајњи тренинг скуп постаје скуп S и он се надаље користи за обучавање. Број итерација (параметар M), број података који се лабелирају и додају у тренинг скуп у свакој итерацији (параметар N) и конкретна метрика која се примењује представљају хиперпараметре алгоритма и њихове вредности одређене су емпиријски.

3.3. Неуронске мреже

За имплементацију модела који врше класификацију животиња употребљена је конволуциона неуронска мрежа са самостално развијеном архитектуром и *ResNet50* архитектура. Конволуциона мрежа је тренирана у 30 епоха, а *ResNet50* мрежа је претренирана на *ImageNet 1000* [6] скупу података и није накнадно тренирана на скупу коришћеном у раду.

Самостално развијена мрежа састоји се из 6 конволуционих слојева, праћених једним потпуно повезаним слојем. Конволуциони слојеви користе *ReLU* активациону функцију. Након сваког конволуционог слоја следи по један *Max Pooling* сажимајући слој и један *Dropout* слој. У последњем слоју коришћена је *Softmax* активациона функција.

4. ОПИС ПРЕДЛОЖЕНОГ РЕШЕЊА

Током развоја предложеног решења испробана су два приступа класификацији раса паса и мачака. Следи опис оба приступа.

4.1. Први приступ – класификација у једном кораку

Идеја првог приступа је одређивање раса паса и мачака у једном кораку, односно без претходног закључивања о томе да ли се на слици налази пас или мачка. У ту сврху коришћена је самостално развијена конволуциона неуронска мрежа. Мрежа је обучена да препознаје 6 класа – 3 расе паса и 3 расе мачака. У наставку рада мрежа ће се означавати са CNN-1.

Предност овог приступа је чињеница да је за његову имплементацију потребна само једна неуронска мрежа. Мана је то што мрежа може направити јако грубу грешку тиме што слику мачке може класификовати као слику пса и обрнуто.

4.2. Други приступ – класификација у два корака

Други приступ врши класификацију слика паса и мачака у два корака. У првом кораку врши се класификација по принципу пас-мачка. У ту сврху коришћена је претренирана *ResNet50* неуронска мрежа. У другом кораку се, на основу резултата првог корака, слика прослеђује моделу који је

специјализован да обавља класификацију само по врстама паса или мачака. У ту сврху коришћене су две самостално развијене конволуционе неуронске мреже. Једна врши класификацију само паса и у даљем тексту означаваће се са CNN-D. Друга врши класификацију само мачака и у даљем тексту означаваће се са CNN-C. Обе мреже трениране су над подскуповима укупног тренинг скупа, који садрже само слике паса, односно мачака.

Како *ResNet50* неуронска мрежа не мора препознати ни пса ни мачку на слици, због чињенице да је тренирана да препознаје и друге објекте, у таквим случајевима се слика у другом кораку прослеђује и CNN-D класификатору и CNN-C класификатору. Као крајње решење класификације узима се одлука оног класификатора који је у своју одлуку био сигурнији, односно чија је предикција имала већу вероватноћу припадања предиктованој класи. Разлог за ово јесте интуиција да ће класификатор мачака бити мање сигуран у своју одлуку од класификатора паса уколико му се проследи слика пса и обрнуто.

4.3. Испитивање метрика активног учења

Код оба приступа испитан је утицај активног учења приликом обучавања модела. Испитивање је извршено за сваки од модела који користе самостално развијену архитектуру (CNN-1, CNN-D и CNN-C). Како се *ResNet50* неуронска мрежа из другог приступа користи претренирана, односно не обучава додатно на скупу коришћеном у раду, за њу није вршено испитивање.

Вредност параметра M , који представља број итерација активног учења, за сваки модел је одабран да буде 4. Вредност параметра N , који представља број података који се у свакој итерацији додају у тренинг скуп, одређен је за сваки модел и итерацију активног учења понаособ (табела 1).

Табела 1. Вредност параметра N по итерацијама и моделима

Итерација	CNN-1	CNN-D	CNN-C
1	1,050	525	525
2	1,050	525	525
3	900	450	450
4	900	450	450

За евалуацију најбоље метрике информативности коришћена је тачност и *loss* на валидационом скупу за другу итерацију активног учења. Разлог за одабир ове итерације лежи у чињеници да су сви модели већ на њој остварили јако добре перформансе, а уз коришћење само око 53% укупног тренинг скупа. Метрике које су се најбоље показале по моделима су:

- CNN-1 – *Bmax*, 99.6% тачност, 0.0145 *loss*
- CNN-D – *EP Measure*, 100% тачност, 0.0029 *loss*
- CNN-C – *BvSB*, 99.8% тачност, 0.0136 *loss*

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Оба приступа евалуирана су над тестним скупом користећи тачност као метрику. Следи опис поступка евалуације.

5.1. Тестни скуп

Тестирање перформанси предложеног решења извршено је над тестним скупом који се састоји од 420 слика. Скуп је формиран тако што је из иницијалног скупа података издвојено по 7 слика за сваку од 6 раса животиња и формиран почетни скуп од 42 слике. Након тога је применом истих трансформација коришћених за аугментацију тренинг скупа добијен крајњи скуп од 420 слика.

Разлог за употребу оваквог тестног скупа јесте жеља за тестирањем робусности модела, односно отпорности на деформисаност слика, слика ниског квалитета, разлике у нивоу осветљености и слично.

5.2. Поступак тестирања и остварени резултати

Упоредо су тестирана оба приступа, са и без примене активног учења. Модели тренирани без примене активног учења обучавањем су над целим тренинг скупом. Модели тренирани уз коришћење активног учења обучавањем су уз примену две итерације ове технике и метрике која се за њих показала најбољом.

Резултати добијени приликом тестирања решења приказани су у табелама 2 и 3. Обе табеле садрже добијене вредности тачности за сваки приступ и модел. Табела 2 садржи резултате у случају када није примењено активно учење, а табела 3 у случају када јесте. Метрика означена са RN-2S представља коначну тачност другог приступа, односно тачност која се добије када се цео систем евалуира, а не само појединачне мреже.

Табела 2. Резултати модела и приступа без примене активног учења

	CNN-1	CNN-D	CNN-C	ResNet	RN-2S
Тачност (%)	93,33	97,62	97,62	96,43	95,00

Табела 3. Резултати модела и приступа у случају примене активног учења

	CNN-1	CNN-D	CNN-C	ResNet	RN-2S
Тачност (%)	97,86	96,67	95,24	96,43	95,24

На основу добијених резултата може се закључити да се други приступ показао бољим, у случају да се не користи активно учење. Додатно, може се уочити да су модели добијени применом активног учења дали упоредиве, а у случају првог приступа и осетно боље перформансе у поређењу са моделима добијеним без примене ове технике.

Иако су оба приступа дали упоредиве резултате, предност у погледу даљег развоја требало би дати другом приступу, односно класификацији у два корака. Разлог за то лежи у *ImageNet 1000* скупу података на коме је претренирана *ResNet50* неуронска мрежа. Наиме, овај скуп је изузетно разноврстан по питању класа које садржи, те би у случају додавања нове врсте животиње постојала велика вероватноћа да за њу постоји одговарајућа класа у *ImageNet 1000* скупу. Самим тим, не би било потребно дотренирати коришћену мрежу, већ би само било довољно направити модел који ће вршити класификацију по расама у оквиру нове врсте.

5.3. Анализа грешака модела

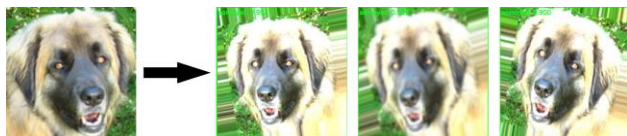
Грешке које су модели начинили у највећем броју случајева лако су објашњиве и могу се приписати деформисаности слика у тестном скупу, што због броја примењених трансформација и њиховог интензитета, што због ниског квалитета оригиналне слике.

Тако је ResNet50 модел погрешно класификовао 9 од 10 слика које су добијене од једне исте полазне која је малих димензија, лошег осветљења и велике замућености (слика 2). Од тих 9 грешака, 7 је начињено јер модел није успео на слици препознати ни пса ни мачку, док је у једном случају препознао пса уместо мачке.



Слика 2. Грешке модела (десно) услед ниског квалитета полазне слике (лево)

Додатно, модел CNN-D добијен без примене активног учења је у случају слике са јаким осветљењем, а од које су трансформацијама добијене додатно посветљене слике, погрешно класификовао пса расе Leonberger као пса расе Samoyed (слика 3). Ово се може приписати јакој деформацији слике услед повећања осветљености, те самим тим повећања и беле боје на псу, што је навело модел да донесе погрешну одлуку.



Слика 3. Грешке модела на посветљеним сликама (десно) добијеним од јако осветљене полазне слике (лево)

6. ЗАКЉУЧАК

Размотрен је проблем одређивања раса паса и мачака и зашто је он сам по себи важан. Предложено је решење са два различита приступа која се заснивају на употреби конволуционих неуронских мрежа. Описан је коришћен скуп података, начин његове аугментације, концепт активног учења, као и коришћене неуронске мреже. Предложено решење је тестирано и резултати верификовани.

На основу добијених резултата може се закључити да се други приступ предложеног решења показао бољим. Додатно, упоредном анализом резултата добијених са и без примене активног учења закључује се да је примена ове технике оправдана, будући да су постигнуте упоредиви или бољи резултати, а уз знатно смањење тренинг скупа.

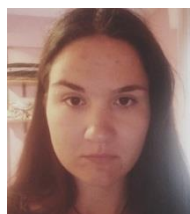
Дакле, класификација у два корака, где се у првом одређује врста, а у другом раса пса или мачке, у комбинацији са техником активног учења и примене аугментације података, представља добро решење проблема одређивања раса паса и мачака.

Једно од могућих проширења предложеног решења могла би бити употреба напреднијих архитектура неуронских мрежа, као и проширење по питању подржаних врста и раса животиња. Додатно, решење би се могло проширити додавањем подршке за детекцију животиња на слици, као и анализом грешака модела уз помоћ различитих техника визуелизације модела.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://barkhappy.com> (приступљено у марту 2022.)
- [2] <https://www.dokonoko.jp/en> (приступљено у марту 2022.)
- [3] <https://www.catster.com> (приступљено у марту 2022.)
- [4] Zisserman, Andrea Vedaldi Andrew, and C. V. Jawahar. "Cats and dogs." IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2012.
- [5] Cohn, David, Les Atlas, and Richard Ladner. "Improving generalization with active learning." Machine learning 15.2 (1994): 201-221.
- [6] Deng, Jia, et al. "Imagenet: A large-scale hierarchical image database." 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Ieee, 2009.

Кратка биографија:



Драгана Грбић рођена је у Новом Саду 1998. године. Дипломирала је на Факултету техничких наука из области Софтверско инжењерство и информационе технологије 2021. године. Мастер рад из исте области одбранила је 2022. године.

ANALIZA I POREĐENJE PERFORMANSI K-D STABLA I LOPTASTOG STABLA KAO PROSTORNIH STRUKTURA PODATAKA U DVODIMENZIONALNOM PROSTORU**ANALYSIS AND COMPARISON OF K-D TREE AND BALL TREE PERFORMANCES AS SPATIAL DATA STRUCTURES IN TWO-DIMENSIONAL SPACE**

Milena Kovačević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Sa konstantnim povećanjem skupova podataka, proces obrade i pristupa konkretnim podacima se komplikuje. Poseban slučaj predstavljaju podaci koji zahtevaju obradu u višedimenzionalnom prostoru. U ovom radu su prikazane dve prostorne strukture podataka koje služe za skladištenje, efikasan pristup i obradu velikih skupova podataka u više dimenzija. Predstavljene su napredne strukture podataka: k-d stablo i loptasto stablo, analizirane su njihove osobine i performanse i prikazani su rezultati o uspešnosti jedne u odnosu na drugu.

Ključne reči: binarno stablo, k-d stablo, loptasto stablo, metod k-najbližih suseda

Abstract – Because of the constant increase in the amount of data sets, processing and accessing specific data in large data sets becomes more complicated. A special case are data that require processing in multidimensional space. This paper presents two spatial data structures that can be used for storage, efficient access and processing of large data sets in multiple dimensions. In this paper k-d tree and ball tree, advanced data structures, with their properties are presented. Also, their performances have been analyzed and the results of the comparison have been shown.

Keywords: binary tree, k-d tree, ball tree, k-nearest neighbors search

1. UVOD

Osnovne strukture podataka kao što su: liste, nizovi, stekovi, redovi, rečnici i druge, inicijalno su bile implementirane za manipulaciju i pretragu podataka koji se nalaze u jednoj dimenziji. Način smeštanja i organizovanja podataka je fundamentalna stvar u programiranju. Osnova većine programa ne leži u načinu obrade podataka, već u načinu na koji su podaci smešteni, organizovani i koliko im je lako i brzo moguće pristupiti. Strukture podataka pružaju jasniju sliku korisniku o podacima i njihovom međusobnom odnosu zbog čega je izbor odgovarajuće strukture podataka veoma važan za efikasan rad celog sistema.

Ustaljen način za obradu i pristup podacima bio je preko jedinstvenog identifikatora, koji omogućava pristup podacima prvenstveno u jednodimenzionalnom prostoru.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Dunja Vrbaški, docent.

Razvojem računarske industrije nastaju i velike količine podataka i istovremeno se javlja problem smeštanja i obrade istih. Zbog pomenutih problema dolazi do potrebe za novim strukturama podataka kao i za drugačijim načinom čuvanja i posmatranja podataka. Sa jedinstvenim identifikatorom je bilo moguće predstaviti i pristupiti podacima i u više dimenzija, ali na manje prirodan način i sa značajnim smanjenjem performansi celog sistema. Konstrukcija pogodne strukture za pronalazak određenog broja najbližih suseda jednog entiteta iz skupa podataka kao i sam proces nalaženja određenog broja najbližih suseda za dati entitet su problemi koji se javljaju prilikom pretrage multimedijalnih informacija, rudarenja podataka (eng. *data-mining*) i mašinskog učenja (eng. *machine learning*). Istovremeno, za sve ove probleme su potrebna sve efikasnija rešenja s obzirom da skupodvi podaka iz dana u dan postaju masovniji.

Cilj ovog rada je upoznavanje sa dve prostorne strukture podataka koje omogućavaju skladištenje i efikasan pristup podacima u više dimenzija, analiza njihovih osobina i poređenje njihovih razlika prilikom obrade različitih količina podataka u dve dimenzije. Za postizanje ovog cilja implementirani su k-d stablo i loptasto stablo i algoritam za efikasan pronalazak određenog broja najbližih suseda, a zatim su vršene analize performansi i poređenja nad pomenutim stablima.

Preostali deo rada organizovan je na sledeći način. U naredom poglavlju će biti prikazani radovi koji se bave sličnom problematikom. U trećem poglavlju će biti objašnjen način rada i konstrukcija prostornih struktura podataka: k-d stabla i loptastog stabla. U četvrtom poglavlju će biti reči o problemu pronalaska k-najbližih suseda i načinu implementacije ovog algoritma kod k-d stabla i loptastog stabla. U petom poglavlju će biti predstavljene performanse i razlike jednog stabla u odnosu na drugo, dok će u šestom poglavlju biti izložen zaključak i navedeni pravci u kojima bi se rad mogao razvijati i nadograđivati.

2. PRETHODNA REŠENJA

Brojne napredne strukture podataka su predstavljene u literaturi, uključujući k-d stablo [1], *quadtree* [2], loptasto stablo [3], pokrivajuće stablo [4] i r-stablo [5]. Među njima, k-d stablo je efikasna struktura podataka koju je izložio Bentley [1] 1975. godine. Jednostavna je, a može efikasno da obrađuje mnoge vrste upita. Bentley je pokazao da k-d stablo ima efikasnost $O(\log n)$ za upis novog podatka i brisanje postojećeg podatka iz stabla. K-d stablo [6] je jedno od

stabala za particionisanje prostora i organizovanje podataka u višedimenzionalnom prostoru. Kompleksnost izgradnje ovog stabla od n tačaka je $O(n \log n)$

Loptasto stablo [3] je binarno stablo koje služi za održavanje hijerarhijskog uređenja među podacima kao i kod k-d stabla. Svaki čvor u loptastom stablu predstavlja loptu koja sadrži skup tačaka ograničenih hipersferom. Ukoliko nisu listovi, svaki čvor sadrži jednog ili dva naslednika koji zajedno sadrže sve tačke koje se nalaze u tom čvoru. Kao i k-d stablo, loptasto stablo se takođe može kreirati *top-down* algoritmom. Kompleksnost kreiranja loptastog stabla za n tačaka je $O(n \log n)$.

3. OPIS I IMPLEMENTACIJA

Stabla koja će biti objašnjena u ovom poglavlju su prostorne strukture podataka koje su dizajnirane za smeštanje, pretragu i rad sa podacima u više dimenzija. Dve osnovne ideje prostornih struktura podataka su: eksplicitno indeksiranje određenog podatka i uslov da sortiranje u strukturi podataka istovremeno izaziva i particionisanje prostora.

3.1. K-d Stabla

K-d stabla služe za skladištenje konačnog skupa podataka u k-dimenzionalnom prostoru, gde k predstavlja broj dimenzije. Ova stabla su modifikacija binarnog stabla pretrage. Iako se k-d stabla mogu primeniti za probleme u bilo kojoj dimenziji, najčešće se koriste za rešavanje problema u dve ili tri dimenzije. Svaki unutrašnji čvor stabla predstavlja hiperravan koja seče prostor na dva dela, odnosno deli prostor po nekoj od dimenzija. U dvodimenzionalnom prostoru, čvor predstavlja liniju, dok u tri dimenzije predstavlja ravan. Prilikom prikaza, svaki čvor predstavlja jednu tačku u prostoru.

3.1.1. Konstrukcija k-d stabla

Za konstrukciju k-d stabla izabran je kanonički metod, kako zbog njegove efikasnosti, tako i zbog lakšeg poređenja performansi sa loptastim stablom. K-d stablo se sastoji od čvorova od kojih svaki čvor čuva informaciju o jednoj pojavi iz skupa podataka, dimenziju po kojoj će deliti prostor, referencu na levo podstablo i referencu na desno podstablo. Konstrukcijom k-d stabla nastaje binarno stablo gde će svaki naredni red deliti prostor po nekoj dimenziji i gde se dimenzije kružno smenjuju. Prilikom kreiranja stabla nije neophodno poznavati ceo skup podataka. Konstrukcija k-d stabla kanoničkom metodom se vrši prolaskom kroz sledeće faze:

1. Određivanje korena stabla u prvoj iteraciji, odnosno korena podstabala u ostalim iteracijama procesa. Za koren stabla se bira medijana vrednosti po određenoj dimenziji. Medijana se pronalazi sortiranjem elemenata po najrasprostranjenijoj dimenziji i uzimanjem srednjeg elementa iz sortiranog niza elemenata.
2. Raspoređivanje ostalih pojava u levo podstablo u slučaju da se nalaze sa leve strane korena, odnosno raspoređivanje pojava u desno podstablo u slučaju da se nalaze sa desne strane korena stabla.
3. Rekurzivno ponavljanje u nastalim podstablama dok se svi elementi iz skupa podataka ne smeste u neki čvor ovog stabla.

3.2. Loptasto stablo

Loptasto stablo je hijerarhijsko binarno stablo koje služi za skladištenje podataka u višedimenzionalnom prostoru. Sam naziv nastao je zbog načina na koji se vrši podela prostora. Za razliku od k-d stabla, kod koga se prostor deli po određenoj osi, kod loptastog stabla prostor se deli pomoću kružnica, tako da se svi podaci nalaze u unutar kružnice. Ova stabla dele prostor u niz hipersfera tako da podaci koji se nalaze blizu čine jednu sferu. Korenski čvor stabla je čvor koji zauzima najveći prostor i obuhvata sve elemente skupa podataka. Svi ostali čvorovi su potomci korenskog čvora i razlikujemo čvorove koji su listovi od onih koji to nisu. Čvor koji je list sadrži skup tačaka koje on predstavlja i nema levo niti desno podstablo. Broj elemenata koji se mogu naći u listu treba biti prethodno definisan. Čvor koji nije list, pored toga što sadrži tačke koje se u njemu nalaze, ima reference na dva podstabla za koja važi:

1. Presek levog i desnog podstabla je prazan skup. Ova dva skupa mogu da imaju zajedničku površinu, ali ne i elemente.
2. Unija ovih skupova obuhvata sve podatke koji se nalaze u roditeljskom čvoru.

Podela prostora kod ovog stabla zavisi od implementacije i rasporeda tačaka. Krećući se od korena ka listovima površina kruga se gotovo duplo smanjuje na svakom narednom nivou.

3.2.1. Konstrukcija loptastog stabla

Konstrukcija loptastog stabla rađena je po k-d algoritmu. U ovoj implementaciji, svaki čvor sadrži određen broj podataka. Prilikom implementacije neophodno je poznavati ceo skup podataka koji će se smestiti u stablo. Prvi korak u kreiranju loptastog stabla je određivanje korena, odnosno centra i poluprečnika kruga koji obuhvata sve tačke iz skupa tačaka. Proces određivanja ovog čvora prolazi kroz sledeće faze:

1. Slučajnim izborom se bira jedna tačka iz skupa.
2. Nalazi se tačka koja je najudaljenija od prethodno slučajno izabrane tačke.
3. Traži se druga tačka koja je najudaljenija od tačke koja je izabrana u prethodnom koraku. Tačke koje su izabrane u koraku 2. i 3. će biti najudaljenije tačke u celom početkom skupu tačaka.
4. Kroz dve pomenute tačke se provlači prava i vrši se projekcija svih ostalih tačaka na tu pravu.
5. Pomoću projektovanih tačaka na pravu, određuje se medijana. Medijana će biti centar korena, a poluprečnik korena će biti udaljenost od medijane do najdalje tačke iz skupa tačaka.

Drugi korak u procesu kreiranja loptastog stabla je rekurzivno deljenje krugova na po dva kruga, koja će zajedno obuhvatati sve elemente koje njihov roditelj sadrži. Ovaj proces deljenja krugova na dva manja se odvija dok god ne nastanu dovoljno mali krugovi koji će obuhvatati dozvoljen broj entiteta iz skupa.

4. ALGORITAM ZA PRETRAGU K-NAJBЛИЖИХ SUSEDA (KNNS)

Pronalazak najbližeg suseda (eng. *nearest neighbor search (NNS)*) je optimizacioni problem čiji je zadatak da se pronađe tačka u datom skupu podataka koja je najbliža, ili po nekom kriterijumu najsličnija, datoj tački. Najčešće korišćen način za određivanje bliskosti je računanje udaljenosti pomoću euklidskog, menhetn ili nekog drugog algoritma za računanje udaljenosti.

Pronalazak k-najbližih suseda je složenija verzija *NNS* algoritma gde je, umesto pronalaska jednog suseda, neophodno pronaći k suseda, gde k predstavlja broj najbližih suseda. Složenost pronalaska k suseda postaje posebno izražena sa povećanjem skupa podataka u kome se pretraga vrši i prilikom povećanja dimenzionalnosti prostora u kome se pretraga izvršava.

4.1. Konstrukcija KNNS algoritma za k-d stablo

Na samom početku pretrage neophodno je imati informacije o korenu k-d stabla, tačku T za koju tražimo određen broj najbližih suseda i k, odnosno broj najbližih suseda koji je neophodno pronaći.

Za potrebe ovog rada pretraga je implementirana pomoću dve metode gde prva metoda služi za proveru prosleđenih parametara i za poziv druge metode u kojoj se nalazi glavna logika za pomenuti algoritam. U nastavku je dat opis implementiranih koraka:

1. Funkcija se izvršava rekurzivno i na početku svakog izvršavanja se prvo proverava da li je prosleđeni korenski čvor zadovoljavajuć i u slučaju da nije, završava se trenutna iteracija.
2. Nakon provere se određuje udaljenost između prosleđene tačke i centra trenutnog čvora.
 - a. Ukoliko čvor već ne postoji u listi najbližih suseda i lista ima manje od k elemenata, čvor se dodaje u listu najbližih suseda.
 - b. Ukoliko čvor ne postoji u listi najbližih suseda i ako je bliži tački T od najdaljeg čvora iz liste najbližih suseda, vrši se zamena ta dva čvora, odnosno dodaje se bliži čvor u listu i izbacuje se najdalji čvor iz liste.
3. Vrši se sortiranje liste kako bismo lako mogli da pristupimo najbližem, ali i najudaljenijem elementu iz liste.
4. Određuje se trenutna dimenzija po kojoj se vrši podela prostora.
5. Vrši se provera da li je potrebno nastavljati pretragu. Pretragu je potrebno nastaviti ukoliko je trenutni čvor bliži tački T nego što je to najdalji element iz liste ili ako lista najbližih suseda nije popunjena.
6. Ukoliko se trenutni čvor nalazi sa leve strane tačke T, rekurzivno se poziva ova funkcija nad levim, pa zatim nad desnim podstablom. Ukoliko je slučaj obrnut, vrši se rekurzivno pozivanje metode prvo nad desnim, pa onda nad levim podstablom.
7. Algoritam se završava ili kada prosleđeno postablo ne postoji ili kada uslov za nastavak pomenut u koraku 5. nije ispunjen.

4.2. Konstrukcija KNNS algoritma za loptasto stablo

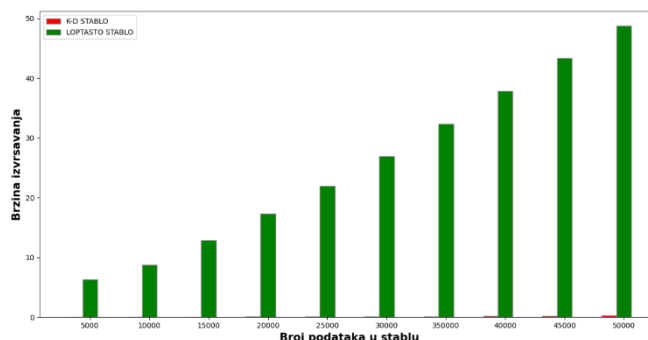
Konstrukcija KNNS algoritma za loptasto stablo je urađena na sličajn način kao kod k-d stabla. Ovde takođe postoje dve metode gde jedna vrši proveru prosleđenih parametara, a u drugoj se nalazi rekurzivni kod. Pored ove dve metode postoji i metoda za dodavanje čvora u listu k najbližih suseda ako su svi uslovi zadovoljeni. Algoritam za implementaciju u glavnoj metodi prolazi kroz naredne korake:

1. Provera da li je prosleđen koren stabla postojeći
2. Ukoliko je koren u trenutnoj iteraciji istovremeno i list poziva se metoda za dodavanje elementa u listu k suseda.
3. Čvor biva dodat u listu suseda ukoliko u njoj već ne postoji, ako ona nije potpuno popunjena ili ukoliko je bliži tački T od čvora iz liste koji je najudaljeniji od tačke T. U poslednjem slučaju najudaljeniji čvor biva izbačen iz liste k najbližih suseda.
4. Vrši se provera da li je potrebno nastavljati pretragu.
5. Ukoliko je uslov iz koraka 4. ispunjen, rekurzivno se vrši pozivanje pretrage u levom i desnom podstablu loptastog stabla.
6. Algoritam se završava kada prosleđeno stablo ne postoji, što se dešava kada se dođe do lista stabla ili kada nisu zadovoljeni uslovi da se rekurzivno pozivanje nastavi.

Ovakva pretraga u kombinaciji sa pomenutim strukturama postaje veoma efikasna, pošto se zbog načina na koji su elementi organizovani smanjuje broj provera i poređenja značajnog elemenata sa traženim elementom.

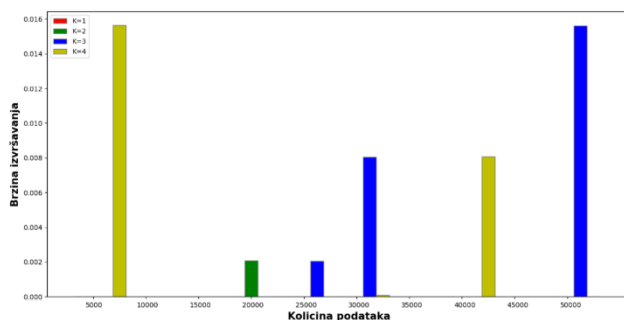
5. PRIKAZ REZULTATA I DISKUSIJA

U ovom poglavlju će biti predstavljeni rezultati poređenja performansi konstrukcije k-d stabla i loptastog stabla za različit broj podataka, kao i performansi nalaženja k najbližih suseda.



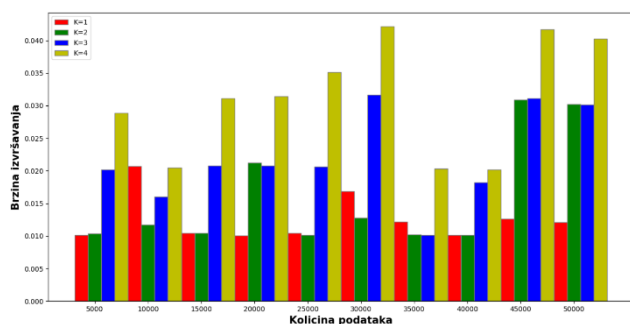
Slika 1. Razlika u brzini konstrukcije k-d stabla i loptastog stabla

Na slici 1. prikazano je vreme koje je neophodno za konstrukciju k-d stabla i loptastog stabla za različit broj elemenata. Broj elemenata skupa koji se koristi za konstrukciju prikazan je na x osi i kreće se od 5 000 do 50 000. Zeleni stubovi predstavljaju brzinu konstrukcije loptastog stabla za različite količine podataka, dok crveni stubovi, koji se tek naziru uz x osu, prikazuju brzinu konstrukcije k-d stabla. Na osnovu ovog grafika jasno se može utvrditi da je konstrukcija k-d stabla značajno brža od konstrukcije loptastog stabla.



Slika 2. Vreme nalaska k najbližih suseda kod k-d stabla

Na slici 2. je prikazano vreme koje je potrebno da se nađe 1, 3, 5 ili 10 najbližih suseda među deset različitih skupova podataka, gde najmanji skup podataka sadrži 5 000 podataka, a najveći 50 000 podataka. Sa povećanjem broja suseda koji se trebaju naći povećava se i prosečno vreme potrebno za pretragu.



Slika 3. Vreme nalaska k najbližih suseda kod loptastog stabla

Na slici 3. prikazano je vreme za pronalazak k najbližih suseda kod loptastog stabla. Treba napomenuti da ne samo da je pronalazak k najbližih suseda vršen nad istim podacima kao i kod k-d stabla već su susedi traženi za iste tačke. I na ovom grafiku možemo uočiti povećanje potrebnog vremena za nalazak k najbližih suseda prilikom povećanja broja najbližih suseda koje treba naći, ali je prosečna brzina potrebna da pronalazanje bilo kog od prikazanih brojeva suseda značajno veća kod loptastog stabla u odnosu na k-d stablo.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu su predstavljena dve prostorne strukture podataka za čuvanje i manipulaciju podacima u višedimenzionalnom prostoru: k-d stablo i loptasto stablo. Oba stabla su implementirana na sličan način kako bi se preciznije mogla odrediti razlika u njihovim performansama. Izvršena su merenja brzine konstrukcije ovih stabala i pretrage k najbližih suseda za određenu tačku u dvodimenzionalnom prostoru. Na osnovu izvršenih merenja pokazano je da su performanse konstrukcije k-d stabla značajno bolje od performansi konstrukcije loptastog stabla. Prilikom pretrage k najbližih suseda kod oba stabla se može uočiti smanjenje performansi sa porastom broja k, ali su performanse k-d stabla i u ovom domenu značajno bolje od performansi loptastog stabla.

Jedan od pravaca u kojima bi ovaj rad mogao da se unapredi jeste određivanje ponašanja i performansi k-d stabla i loptastog stabla u većim dimenzijama kao i uvođenje paralelizma prilikom konstrukcije stabala i prilikom pronalaska k najbližih suseda za određeni čvor.

Rad bi takođe mogao da se unapredi i određivanjem brzine i efikasnosti konstrukcije stabala i pronalazanja k najbližih suseda prilikom primene drugih algoritama za konstrukciju samog k-d stabla ili loptastog stabla.

7. LITERATURA

- [1] J. L. Bentley, "Multidimensional binary search trees used for associative searching," Commun. ACM, vol. 18, no. 9, p. 509–517, Sep. 1975.
- [2] R. A. Finkel and J. L. Bentley, "Quad trees a data structure for retrieval on composite keys," Acta Informatica, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 1974.
- [3] S. M. Omohundro, "Five balltree construction algorithms", International Computer Science Institute Berkeley, 1989.
- [4] A. Beygelzimer, S. Kakade, and J. Langford, "Cover trees for nearest neighbor," Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning, pp. 97–104, 2006.
- [5] A. Guttman, "R-trees: A dynamic index structure for spatial searching," Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on Management of data, pp. 47–57, 1984.
- [6] A.W. Moore, "An introductory tutorial on kd-trees", Technical Report No. 209, Computer Laboratory, University of Cambridge, 1991.

Kratka biografija:



Milena Kovačević rođena je u Beogradu 1998. god. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, studentski program Računarstvo i automatika, upisala je 2017. godine. Nakon završenih osnovnih studija, 2021. godine, upisala je master akademske studije iz oblasti elektrotehnike i računarstva.

kontakt: kmilena98@gmail.com

**VEKTORSKO UPRAVLJANJE ASINHRONIM MOTOROM UZ MAKSIMIZACIJU
ODNOSA MOMENT-STRUJA****VECTOR CONTROL OF INDUCTION MOTOR WITH MAXIMUM TORQUE-CURRENT
RATIO**Stevan Bačević, Darko Marčetić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu je analiziran dinamički model i vektorska kontrola asinhronog motora. Analizirana je struktura gubitaka i kao osnovni cilj optimalne kontrole je postavljena njihova minimizacija. U slučaju malih brzina obrtanja, prepoznato je da se gubici u gvožđu mogu zanemariti, čime se došlo do minimizacije amplitude struje statora, kao postavljenog uslova za minimizaciju gubitaka. Iz tog razloga je izvedena MAPT (eng. Minimum Ampere per Torque) strategija koja daje takve koordinate vektora statorske struje kojima se ostvaruje referentni momenat, uz minimalnu amplitudu struje statora. Kako je sistem jednačina složen i nema analitičko rešenje, korišćen je Njutn-Raphsonov iterativni metod za rešavanje složenih jednačina. Prvo je opisan princip rada Njutn-Raphsonovog metoda, a kasnije su primenom ovog metoda dobijene simulacije struja statora i induktivnosti magnetćenja u odnosu na različite vrednosti zadatog momenta.

Gljučne reči: Vektorsko upravljanje, Asinhroni motor, Struja, Gubici

Abstract - The paper analyzes the dynamic model and vector control of an three phase induction motor. The structure of losses was analyzed and their minimization was set as the basic goal of optimal control. In the case of low speeds, it is recognized that losses in iron can be neglected, which minimized the amplitude of the stator current, as a set condition for minimizing losses. For this reason, the MAPT (Minimum Ampere per Torque) strategy was derived, which gives such coordinates of the stator current vector that achieve the reference torque, with a minimum stator current amplitude. As the system of equations is complex and has no analytical solution, Newton-Raphson's iterative method was used to solve complex equations. First, the principle of operation of the Newton-Raphson method was described, and later, using this method, simulations of stator currents and magnetization inductances in relation to different values of a given torque were obtained.

Keywords: Vector control, Asynchronous motor, Current, Losses

1. UVOD

Veliku primenu danas ima korišćenje koncepta vektorskog upravljanja. Razlog toga jeste što se postižu visoke performanse upravljanja u naizmeničnim elektromotornim

pogonima sa asinhronom mašinom. Cilj vektorskog upravljanja jeste da se postigne da se asinhrona mašina pretvori u linearni konvertor momenta, što predstavlja mogućnost nezavisnog i linearnog upravljanja fluksom i momentom. To dovodi do toga se AM može koristiti potpuno ravnopravno sa mašinom jednosmerne struje u pogonima visokih performansi, ali i u pogonima opšte namene. Za vektorsko upravljanje asinhronog motora se u ovom radu primenjuje indirektno vektorsko upravljanje (eng. Indirect field oriented control - IFOC). Da bi IFOC upravljanje ujedno bilo i energetske efikasno, primenjuju se razne strategije za optimizaciju nivoa fluksa u mašini. Osnovni cilj ovih metoda je promena nivoa fluksa sa opterećenjem, čime se ostvaruju minimalni gubici.

U ovom radu je opisana MAPT strategija koja minimizuje amplitudu struje statora pri datom momentu, a samim tim minimizuje i gubitke u bakru za dato opterećenje. MAPT strategija se često koristi za sinhroni motor [4]-[5], ali u ovom radu ja adaptirana za asinhroni motor [6].

**2. INDIREKTNOST Vektorsko UPRAVLJANJE
ASINHRONIM MOTOROM**

Indirektno vektorsko upravljanje ili indirektna orijentacija polja (eng. Indirect field oriented control - IFOC) predstavlja najpopularniji način za postizanje visokih performansi u pogonu sa asinhronim motorom.

Prvo se posmatra jednačina naponskog balansa rotora u dq domenu [1].

$$u_r = R_r \cdot i_r + \frac{d}{dt} \psi_r + j(\omega_{dq} - \omega_r) \cdot \psi_r = 0 \quad (1)$$

Ako se ove jednačine raspregnu i ako se vrši kontrola vektora struje statora primenom strujnog regulisanog naponskog invertora, dobijaju se jednačine koje predstavljaju zavisnost fluksa rotora od struje statora i klizanja:

$$\frac{\psi_{rd}}{T_r} - \frac{L_m}{T_r} \cdot i_{sd} + \frac{d}{dt} \psi_{rd} - \omega_k \cdot \psi_{rq} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\psi_{rq}}{T_r} - \frac{L_m}{T_r} \cdot i_{sq} + \frac{d}{dt} \psi_{rq} + \omega_k \cdot \psi_{rd} = 0 \quad (3)$$

Ukoliko se uzmu sledeća ograničenja unutar kontrolera:

$$\psi_{rd} = |\psi_r|, \psi_{rq} = 0 \quad (4)$$

dq koordinatni sistem se postavlja paralelno sa fluksom rotora i postiže se pozicioniranje na njegov ugao. Tada jednačina (3) ima sledeći oblik:

$$(L_m/T_r) \cdot i_{sq} - \omega_k \cdot \psi_{rd} = 0 \quad (5)$$

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio dr Darko Marčetić, red.prof.

Praktična realizacija indirektno orijentacije polja IFOC se vrši indirektno računom klizanja, jer ako se zada ugaono klizanje, vektor fluksa rotora se u q osi vremenom poništava:

$$\omega_k = \frac{L_m}{T_r \cdot \psi_{rd}} \cdot i_{sq} = \frac{1}{T_r} \cdot \frac{i_{sq}}{i_{sd}} \quad (6)$$

$$\omega_{dq} = \omega + \omega_k$$

Time se dalje može odrediti relativni položaj dq koordinatnog sistema, odnosno položaj vektora fluksa rotora u odnosu na rotor:

$$\theta_k = \int \omega_k \cdot dt \quad (7)$$

$$\theta_{dq} = \theta_r + \theta_k$$

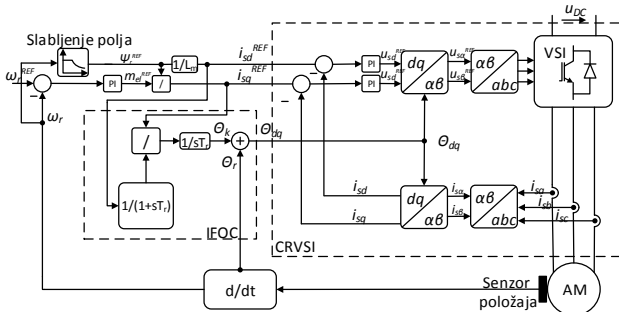
Cilj indirektno orijentacije polja jeste raspregnuto upravljanje momentom m_{el} i fluksom asinhronne mašine $\psi_{rd} = \psi_r$, čime ona postaje linearni konvertor momenta. Oni se računaju kao:

$$m_{el} = \frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot \psi_{rd} \cdot i_{sq} = \frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L_m^2}{L_r} \cdot i_{sd} \cdot i_{sq} \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt} \psi_{rd} = -\frac{1}{T_r} \cdot \psi_{rd} + \frac{L_m}{T_r} \cdot i_{sd} \quad (9)$$

$$\xrightarrow{d/dt=0} \psi_{rd} = L_m \cdot i_{sd}$$

Na Slici 1 je prikazan model indirektno upravljano vektorskog pogona sa AM koji je regulisan po brzini.

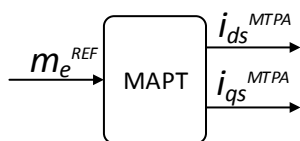


Slika 1. Model indirektno upravljano vektorskog pogona sa AM regulisanog po brzini[1]

Relacije (1) – (9) su polazna osnova za definisanje indirektnog vektorskog upravljanja sa MAPT strategijom.

3. PRIMENA NEWTON-RAPHSON METODA ZA MAPT KONTROLU AM

Kontrola minimalnog ampera (struje) po momentu (*eng. Minimum Ampere per Torque - MAPT*) je strategija koja ostvaruje referentni moment za minimalnu vrednost struje d komponente vektora struje statora. Na Slici 2 je prikazana MAPT startegija sa ulazima i izlazima.



Slika 2. Ulazi i izlazi MAPT bloka za upravljanje AM

Cilj startegije jeste minimizacija gubitaka, čime se ostvaruje minimalna vrednost vektora struje statora I_d .

Za njenu implementaciju se koristi Newton-Raphson metod [2] koji poboljšava tačnost upravljanja AM uz minimlanu referncu struje. Uslovi koji se postavljaju za rešavanje nelinearnog modela u cilju minimizacije struje su:

$$\min \{I_s = \sqrt{i_{ds}^2 + i_{qs}^2}\} \quad (10)$$

$$\frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot \psi_{dr} \cdot i_{qs} \mp m_e = 0$$

Induktivnost magnećenja je funkcija d -ose:

$$L_m(i_{ds}) = L_{m0} + L'_m(i_{ds} - i_{d0}) \quad (11)$$

Kada je L'_m konstantno, tada nema saturacije: $L'_m = 0$. Međutim, kada je L'_m promenljivo, onda dolazi do pojave saturacije i tada $L'_m \neq 0$. Primenom Langranžovog [3] mnozioca na date uslove i proračunom gradijenta funkcije dobija se osnovna MAPT jednačina:

$$L_m \cdot i_{ds}^2 - L_m \cdot \frac{m_e^2}{\left(\frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot L_m\right)^2 \cdot i_{ds}^2} - L'_m \cdot i_{ds} \cdot \frac{m_e^2}{\left(\frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot L_m\right)^2 \cdot i_{ds}^2} = 0 \quad (12)$$

Ova jednačina se upravo rešava primenom Newton-Raphson metoda, pri čemu se dobija jednačina četvrtog reda. Ta jednačina se dalje rešava tako što se traži bolja aproksimacija:

$$f(i_{ds}^h) = \left(\frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L_m}{L_r}\right)^2 \cdot L_m^2 \cdot i_{ds}^4 - \left(\frac{L'_m}{L_m}\right) \cdot i_{ds} \cdot m_e^2 - m_e^2 = 0 \quad (13)$$

$$i_{ds}^{h+1} = i_{ds}^h - \frac{f(i_{ds}^h)}{\partial f(i_{ds}^h) / \partial i_{ds}}$$

Nakon što se odredi izvod date funkcije po struji i_{ds} , i uvrsti se nazad u jednačinu, dobija se nova, bolja aproksimacija.

To se vrti u krug dok se ne dobije odgovarajuća aproksimacija, za određeni broj iteracija.

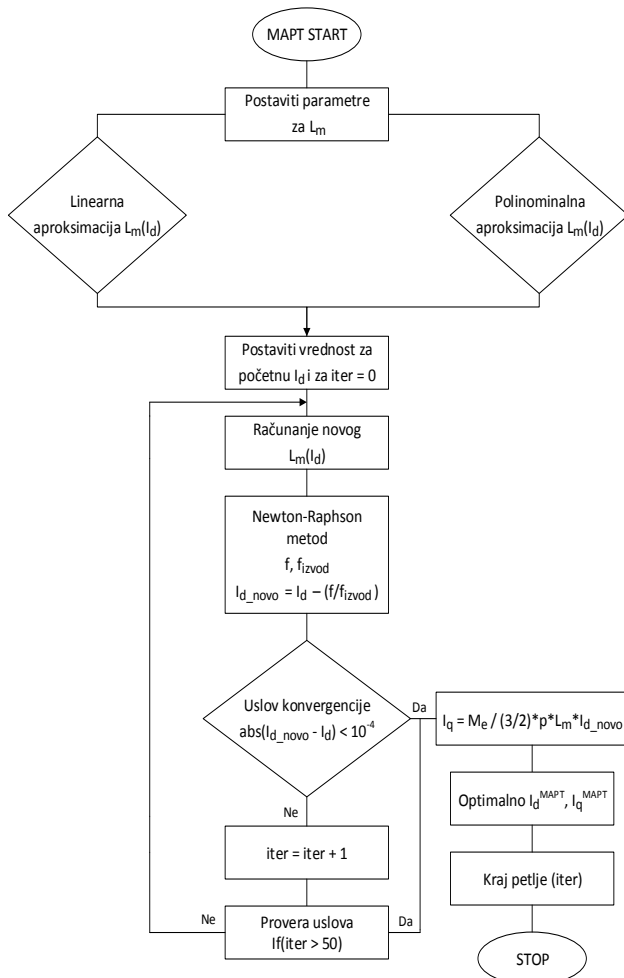
3.1. Blok dijagram algoritma Newton-Raphson metode

Ovde je prikazan blok dijagram algoritma date metode, koji je korišćen pri ispisu koda, a koji pokazuje kako se primenjuje Newton-Raphson metoda za datu jednačinu (13).

Kao što se vidi, prvo se postave parametri za induktivnost magnećenja L_m i izabere se da li ćemo koristiti linearnu ili polinomialnu aproksimaciju $L_m(I_d)$. Postave se vrednosti za početno I_d i za početnu iteraciju i nakon toga se radi Newton-Raphson metod.

Zatim se proverava uslov konvergencije i ako je on nije ispunjen, iteracija se svaki put uvećava za sledeću sve dok se dati uslov konvergencije ne ispuni, kada se ostvaruje potrebna aproksimacija.

Tada se računa struja I_q za datu struju I_d i dobijaju se optimalne vrednosti struja MAPT startegije. Ovde je postavljen još jedan uslov koji kaže da ako broj iteracija pređe 50, da se tada proces zaustavlja i da se za tu poslednju iteraciju traže optimalne vrednosti struja.



Slika 3. Blok dijagram algoritma Newton-Raphson metode

Na osnovu datog blok dijagrama algoritma za datu metodu, za različite vrednosti momenta (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 Nm) imamo različite vrednosti induktivnosti magnećenja L_m i njenih izvoda L'_m i L''_m . Ove vrednosti se računaju na sledeći način:

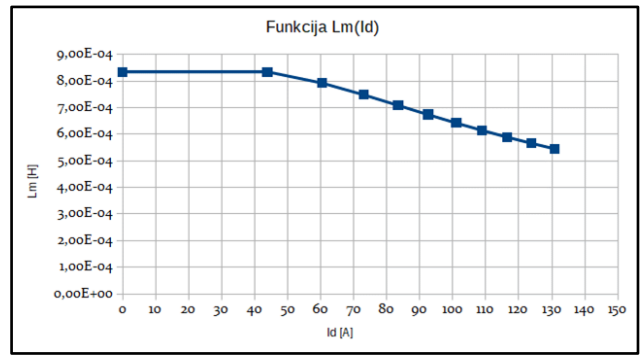
$$\begin{aligned}
 L_m &= p_1 \cdot i_d^5 + p_2 \cdot i_d^4 + p_3 \cdot i_d^3 + p_4 \cdot i_d^2 + p_5 \cdot i_d + p_6 \\
 L'_m &= 5 \cdot p_1 \cdot i_d^4 + 4 \cdot p_2 \cdot i_d^3 + 3 \cdot p_3 \cdot i_d^2 + 2 \cdot p_4 \cdot i_d + p_5 \\
 L''_m &= 20 \cdot p_1 \cdot i_d^3 + 12 \cdot p_2 \cdot i_d^2 + 6 \cdot p_3 \cdot i_d + 2 \cdot p_4
 \end{aligned} \quad (14)$$

Vrednosti datih koeficijenata polinoma su sledeće:

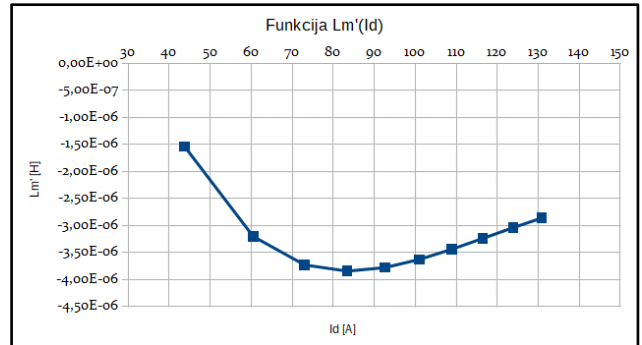
$$\begin{aligned}
 p_1 &= 9,268e-15; \quad p_2 = -6,878e-12; \\
 p_3 &= 1,953e-09; \quad p_4 = -2,555e-07; \\
 p_5 &= 1,174e-05; \quad p_6 = 6,698e-04;
 \end{aligned} \quad (15)$$

Na osnovu tih vrednosti i vrednosti različitih struja I_d za različite momente, imamo sledeće zavisnosti: $L_m(I_d)$, $L'_m(I_d)$ i $L''_m(I_d)$.

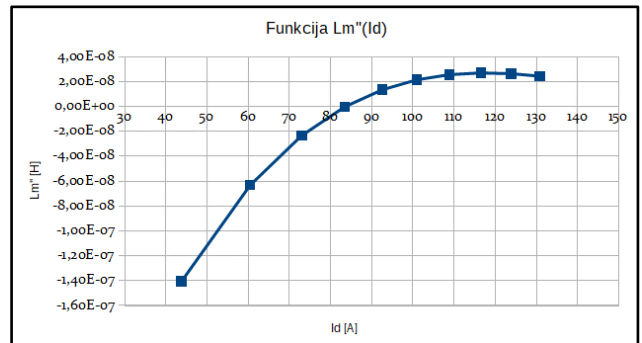
Date funkcijske zavisnosti su prikazane grafički na sledećim slikama, respektivno.



Slika 4. Funkcijska zavisnost induktivnosti magnećenja L_m i struje I_d za različite vrednosti momenta



Slika 5. Funkcijska zavisnost izvoda induktivnosti magnećenja L'_m i struje I_d za različite vrednosti momenta

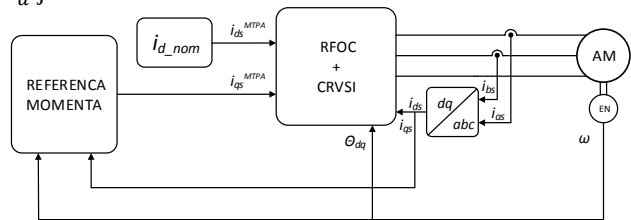


Slika 6. Funkcijska zavisnost izvoda induktivnosti magnećenja L''_m i struje I_d za različite vrednosti momenta

4. OPTIMALNO VEKTORSKO UPRAVLJANJE ASINHRONOG MOTORA SA MAPT TABELOM

Indirektno vektorsko upravljanje radi sa konstantnom vrednošću d komponente vektora struje statora. Dakle, zadaje se nominalna vrednost d struje, dok strujom I_q upravlja momenat.

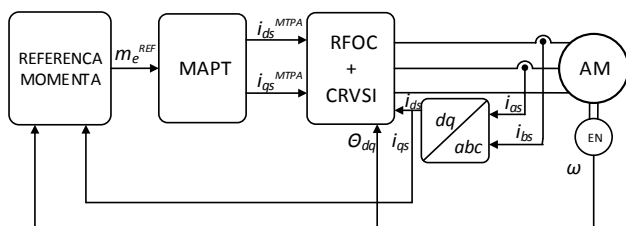
Celokupna konfiguracija za IFOC sa konstantnom strujom I_d je data na Slici 7.



Slika 7. IFOC sa konstantnom vrednošću d komponente vektora struje statora

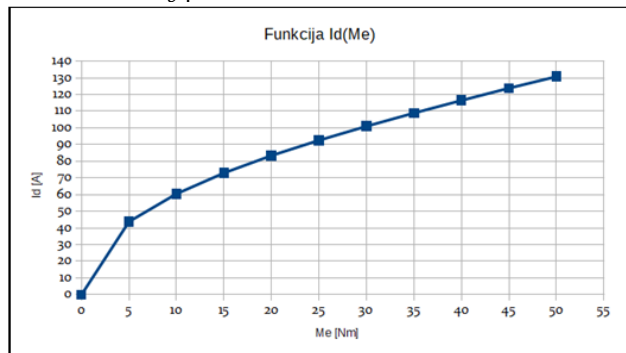
Energetski efikasnije je u prethodnu konfiguraciju ubaciti MAPT blok sa Slici 2, jer će se tada zadavati minimalna vrednost I_d struje usled minimizacije gubitaka, pri čemu se ostvaruje referentni moment.

Celokupna konfiguracija za IFOC sa MAPT strategijom upravljanja strujom I_d je data na Slici 8.

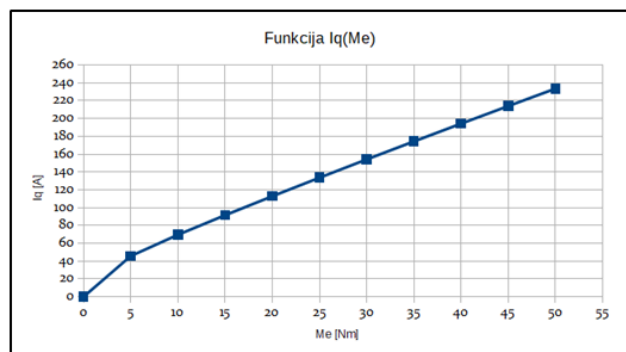


Slika 8. IFOC sa MAPT strategijom upravljanja asinhronim motorom

Struje I_d i I_q koje su izlazi iz MAPT bloka dalje ulaze u strujno regulisani naponski inverter (eng. *Current regulated voltage source inverter - CRVSI*). Primenom Newton-Raphson metoda, za različite vrednosti ovih struja. Kada su vrednosti momenta male, ove struje su gotovo jednake, međutim ne većim vrednostima se vidi značajna razlika (struja I_q ima mnogo veće vrednosti od struje I_d). Funkcijska zavisnost struje I_d od momenta M_e je prikazana na Slici 9, dok je funkcijska zavisnost struje I_q od momenta M_e prikazana na Slici 10.



Slika 9. Funkcijska zavisnost vrednosti struja I_d i vrednosti momenta M_e



Slika 10. Funkcijska zavisnost vrednosti struja I_q i vrednosti momenta M_e

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana IFOC kontrola sa MAPT strategijom upravljanja AM. Cilj datog upravljanja jeste da se postigne minimalna amplituda struje I_d za referentni moment. Dat je opis svih koraka prilikom izvođenja MAPT strategije, kao i korišćeni blok dijagram algoritma Newton-Raphson metode. Takođe su prikazane i različite vrednosti signala struja i induktivnosti magnetčenja za različite vrednosti momenta.

6. LITERATURA

- [1] Darko Marčetić: „Mikroprocesorsko upravljanje energetskim pretvaračima“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2020.
- [2] V. Strezoski, „Osnovni proračuni elektroenergetskih sistema“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.
- [3] “Lagrange multiplier,” 2020. dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Lagrange_multiplier.
- [4] V. Popović, B. Vujkov, M. Vučković, V. Vasić, D. Marčetić and Đ. Oros, "MAPT strategy for IPMSM with parameter sensitivity analysis," 2020 International Symposium on Industrial Electronics and Applications (INDEL), 2020, pp. 1-4.
- [5] S. Wang, M. Degano, J. Kang, A. Galassini, C. Gerada, "A Novel Newton-Raphson-Based Searching Method for the MTPA Control of PMaSynRM Considering Magnetic and Cross Saturation," XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), Alexandroupoli, Greece, 2018, no. 1-7.
- [6] V. Popovic, D. Oros and D. Marcetic, "MAPT Strategy of IM Including Iron Loss Phenomena," 2020 International Symposium on Industrial Electronics and Applications (INDEL), 2020, pp. 1-5.

Kratka biografija:

Stevan Bačević rođen je u Trebinju 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2022 .god.

Darko Marčetić je redovni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu digitalno upravljanje elektromotornim pogonima i optimalna kontrola.

JEDNO REŠENJE LANCA-BLOKOVA**ONE SOLUTION OF BLOCKCHAIN**Tamara Kuprešanin, Miroslav Popović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – Lanac-blokova u poslednje vreme privlači sve veću pažnju širom sveta zbog svog potencijala da obezbedi sigurnost i verifikaciju za različite vrste podataka pomoću decentralizovane mreže koja se ne može izmeniti. Iako je ova tehnologija prvobitno služila za kriptovalute, vremenom je našla primenu u različitim oblastima, od zdravstva, transporta do umetnosti. U ovom radu je predstavljena implementacija lanca-blokova, u Python-u, koja omogućava stvaranje i verifikaciju transakcija, njihovo dodavanje u blokove, koji se zatim međusobno digitalno povezuju. Eksperimentalni rezultati, koji su predstavljeni, pokazuju način na koji porast broja čvorova u mreži utiče na porast broja dodatih transakcija po sekundi u lanac-blokova.

Ključne reči: lanac-blokova, heš funkcija, rudarenje, digitalno potpisivanje, internet stvari

Abstract – Blockchain has recently drawn more and more attention around the world because of its potential to provide security and verification for different types of data using a decentralized network that cannot be changed. Although this technology was originally used for cryptocurrencies, eventually it has found application in various areas, from healthcare to transportation and art. This paper presents our implementation of blockchain, in Python, which enables the creation and verification of transactions, their addition to blocks, which are then digitally interconnected. The experimental results, which are presented, show the way in which the increase in the number of network nodes affects the increase in the number of added transactions in the blockchain per second.

Keywords: blockchain, hash function, mining, digital signature, internet of things

1. UVOD

Lanac-blokova predstavlja bazu podataka ili javni zapisnik svih transakcija i digitalnih radnji koje su izvršene i deljene između učesnika. Svaka transakcija u ovoj bazi mora biti odobrena od većine učesnika u sistemu.

Jednom unešena informacija ne može nikada biti izbrisana, pa samim tim, lanac-blokova sadrži pouzdan i verifikovan zapis svake transakcije koja je ikada nastala. Svaka transakcija, ugovor, proces i izvršeni zadatak se digitalno potpisuju radi verifikacije i provere ispravnosti. Jedna od ključnih karakteristika lanca-blokova jeste da se

ova digitalna knjiga ne čuva na jednom mestu, već na svim računarima koji čine potpuno povezanu mrežu.

Stuart Haber i W. Scott Stornetta su još 1991. osmislili koncept koji je kasnije poslužio kao inspiracija za stvaranje tehnologije lanca-blokova [1]. Pojedinaac ili grupa pod nazivom Satoshi Nakamoto je 2008. u knjizi razvio osnovne koncepte tehnologije lanca-blokova i predstavio prvu upotrebu ove tehnologije stvorivši prvu kriptovalutu Bitcoin [2]. Ta inovativna tehnologija bazirala se na ključnim karakteristikama kao što su decentralizacija, postojanost, anonimnost i sigurnost. Iako je Bitcoin najpoznatija aplikacija lanca-blokova, ova tehnologija može se primeniti u različitim aplikacijama izvan kriptovaluta, kao što su pametni ugovori, javne usluge, internet stvari i službe bezbednosti. Tako na primer, S. Simić, M. Marković, S. Gostojić su u svom radu predstavili primenu pametnih ugovora u hotelijerstvu [3]. Dok Wang, Su, Zhang daju zanimljivu mogućnost primene ove tehnologije u internetu stvari za transport energije pomoću električnih vozila [4]. Al-Jaroodi, Mohamed predstavili su prednosti i izazove korišćenja lanca-blokova za finansijske, zdravstvene, energetske, telekomunikacione i zabavne aplikacije [5]. Sličnu studiju su sprovedi i prikazali u svom radu Jaoude, Saade [6]. Dok je Hölbl sproveo sistematski pregled lanca-blokova u zdravstvu [7]. Danas tehnologija lanca-blokova ostaje otvorena za nova istraživanja i razvoj u industriji i akademskoj zajednici.

Ovaj rad predstavlja proširenu verziju početnog rada Daniela van Flymen-a [8]. U svom radu Daniel je omogućio stvaranje jednostavnog lanca-blokova, dodavanje inicijalnog praznog bloka, stvaranje novih transakcija i njihovo dodavanje u blokove, izračunavanje heš funkcija blokova i dodavanje blokova u lanac, kao rešenje konsenzusa pronalazi se najduži lanac od ponuđenih. Za komunikaciju sa lancem koristio je HTTP zahteve, GET i POST. Kasnije je svoju ideju proširio i izmenio u knjizi [9].

U ovom radu uveden je serverski proces rukovalac koji omogućava prijavljivanje unapred određenog broja čvorova, čuvanje svih adresa i njihovo prosleđivanje prijavljenim čvorovima. Komunikacija čvorova se odvija na nivou transportnog sloja pomoću TCP protokola. Čvorovi se povezuju u potpuno povezanu mrežu. Svaki čvor osim, gore navedenih, osnovnih funkcionalnosti ima dodatne mogućnosti: generisanje privatnog i javnog ključa, digitalnog potpisivanja transakcija pomoću privatnog ključa, verifikaciju pristiglih transakcija na osnovu javnog ključa pošiljaoca pre njihovog hronološkog dodavanja u blok, rudarenje slučajnog broja (engl. nonce – number once) i validaciju slučajnog broja. Za generisanje ključeva

NAPOMENA:

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

implementiran je RSA algoritam, koji koristi Miller-Rabinov test za potrebe pronalaženja velikih prostih brojeva [10,11]. Decentralizacija i sigurnost podataka obezbeđene su pomoću kriptografske heš funkcije, digitalnih potpisa i mehanizma konsenzusa. Ovi mehanizmi uz druge sigurnosne mehanizme (šifrovanje, pouzdano izvršno okruženje, itd.) mogu biti deo sigurnosnog sistema za različite aplikacije interneta stvari [12].

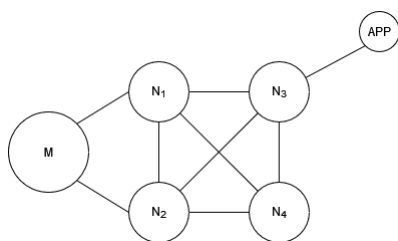
Ostatak rada organizovan je na sledeći način. U drugom odeljku predstavljena je arhitektura, ponašanje i implementacija sistema lanca-blokova. Opis testiranja i dobijeni rezultati dati su u trećem odeljku. Dok četvrti odeljak sadrži zaključak gde su opisane glavne prednosti i nedostaci konkretne implementacije i pravce daljeg razvoja.

2. ARHITEKTURA I IMPLEMENTACIJA

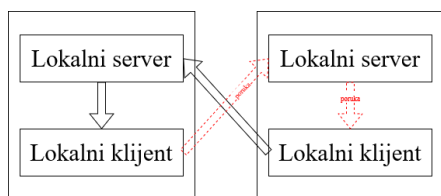
U ovom odeljku je prikazna je arhitektura, ponašanje i implementacija lanca-blokova.

2.1. Arhitektura

Arhitektura sistema na bazi lanca-blokova sastoji se od: jednog serverskog procesa rukovaoca (M), više čvorova ($N_1, N_2, \dots, N_n$) i jedne ili više korisničkih aplikacija (APP), kao na slici 1. Rukovaoc je izveden iz klase BaseManager i služi za čuvanje adresa svih čvorova iz mreže. Čvorovi su realizovani pomoću procesa lokalnog klijenta i procesa lokalnog servera, videti sliku 2.

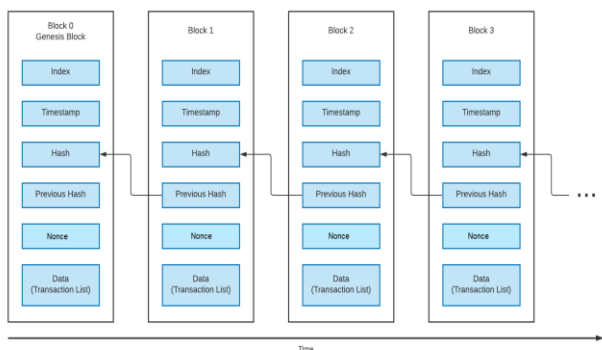


Slika 1. Arhitektura sistema na bazi lanca-blokova



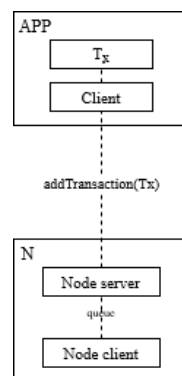
Slika 2. Realizacija komunikacije čvorova

Svaki čvor u mreži ima mogućnost stvaranja lanca-blokova koji se sastoji iz digitalno povezanih blokova. Primer lanca-blokova prikazan je na slici 3.



Slika 3. Prikaz lanca-blokova

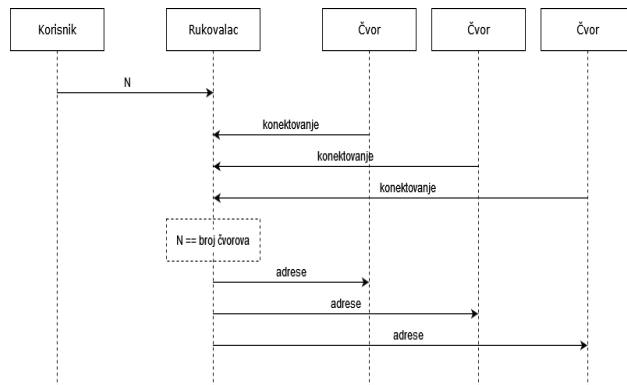
Čvorovi imaju mogućnost da stvaraju nove transakcije (T_x) pomoću funkcije `addTransaction`. Pojednostavljeni UML diagram je prikazan na slici 4.



Slika 4. UML diagram klase sistema na bazi lanca-blokova

2.2. Ponašanje

Prilikom pokretanja rukovaoca potrebno je da korisnik zada broj čvorova koji će činiti mrežu. Čvorovi se povezuju sa rukovaocem, zapisujući svoje adrese, dok se ne dostigne željeni broj čvorova. Zatim svi čvorovi dobijaju informacije o adresama svih preostalih čvorova, videti sliku 5, i međusobno se povezuju u potpuno povezanu mrežu.



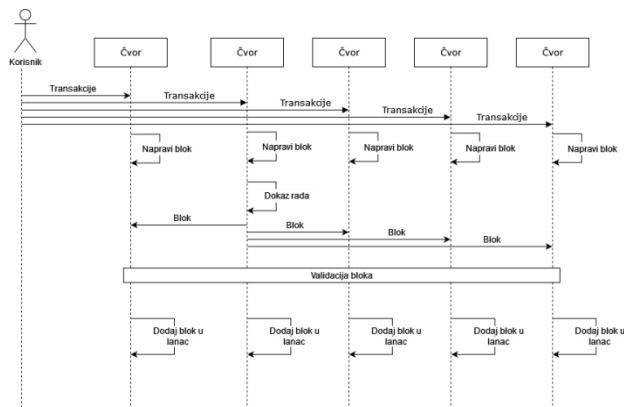
Slika 5. Prijavljivanje čvorova rukovaocu

Kada su čvorovi povezani i stvorena potpuno povezana mreža, svaki od čvorova stvara inicijalan prazan blok i čeka nove transakcije za stvaranje daljih blokova. Svaki blok se sastoji od: indeksa, transakcija, vremenske oznake kada je stvoren blok, slučajnog broja (engl. nonce), heš koda i heš koda prethodnog bloka. Ovi parametri su jedinstveni za sve blokove. Na slici 3 je prikazan lanac-blokova i način na koji se blokovi digitalno povezuju pomoću heš kodova.

Za stvaranje heš koda koristi se SHA-256 funkcija i podaci: indeks, transakcije, vremenska oznaka, slučajan broj (engl. nonce) i heš kod prethodnog bloka, što onemogućava promenu sadržaja jednog bloka, a da se ne promeni sadržaj svih blokova koji idu nakon njega. Korištena kriptografska heš funkcija je matematički algoritam koji mapira podatke proizvoljne dužine u izlaz dužine 256 bita.

Slučajan broj (nonce) predstavlja broj koji rudari treba da pronađu da bi se dobio heš koji počinje sa unapred zadatim brojem nula. Kada je pronađen slučajan broj (engl. nonce) i napravljen novi blok, on se šalje ostalim

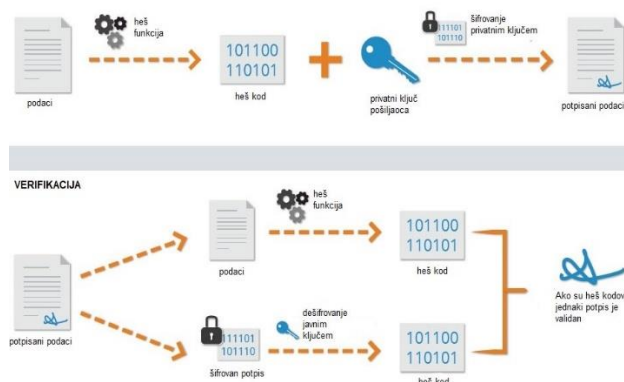
čvorovima u mreži na validaciju. Validacija bloka se vrši na osnovu slučajnog broja i heš funkcije. Kada je blok validiran on se dodaje na svim čvorovima u lanac. Proces dodavanja novih blokova i pronalaženja slučajne vrednosti predstavljen je na slici 6.



Slika 6. Dodavanje blokova u lanac

Svaka transakcija se sastoji od: pošiljaoca, primaoca, vrednosti i vremenske oznake (kada je nastala transakcija). Verifikovane transakcije se hronološki dodaju u novi blok. Verifikacija se vrši pomoću digitalnog potpisa sa privatnim i javnim ključem. Za generisanje ključeva implementiran je RSA algoritam. Prilikom pravljenja transakcija, čvor mora potpisati transakciju privatnim ključem, a prilikom prijema transakcije vrši se verifikacija na osnovu javnog ključa. Proces digitalnog potpisivanja i verifikacije prikazan je na slici 7.

POTPISIVANJE



Slika 7. Digitalno potpisivanje

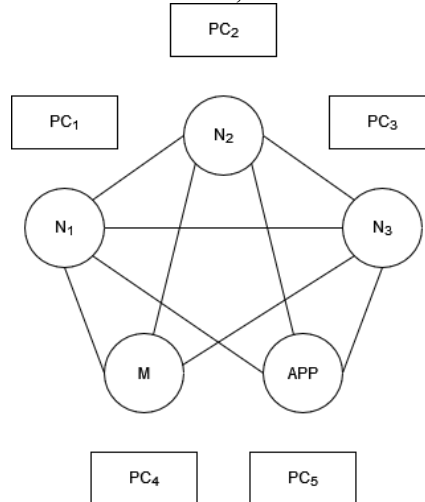
3. EKSPERIMENTALNA EVALUACIJA

Cilj ovog odeljka je da se pokažu dobijeni eksperimentalni rezultati, način na koji broj čvorova u mreži utiče na promenu broja dodatih transakcija u lanac-blokova.

Za potrebe testiranja napravljen je testni program *test*, koji služi za izračunavanje ostvarenog broja transakcija u sekundi. Eksperiment je vršen na potpuno povezanoj mreži sa 3, 5, 8, 10, 12 i 15 čvorova. Test program se povezuje sa rukovaocem, od kojeg saznaje informacije o broju čvorova i njihove adrese, zatim se sa čvorovima povezuje na isti način na koji se oni međusobno povezuju. Test aplikacija broj ponuđenih transakcija na ulazu, *num_trans* = [50, 150, 200, 350, 450, 550, 650, 700, 900], deli u odnosu na broj čvorova u trenutnoj mreži i pro-

sleđuje dobijenu vrednost čvorovima. Čvorovi obavljaju uobičajene funkcije: stvaranja transakcija, digitalnog potpisivanja, prosleđivanja, verifikacije transakcija, dodavanja novih transakcija u blokove, verifikacije blokova i dodavanja blokova u lanac. Zatim nakon stvaranja lanca-blokova, čvorovi prosleđuju informacije o dužini lanca-blokova, kao i sam lanac-blokova.

Na osnovu informacija dobijenih sa svih čvorova aplikacija izračunava ostvarenu propusnost sistema. Deljenjem ukupnog broja transakcija i potrošenog vremena dobija se broj transakcija po sekundi. Eksperiment smo sprovodili na lokalnoj mreži u studentskoj laboratoriji. Test aplikacija se pokretala na zasebnom računaru, kao i rukovalac i svaki čvor u mreži, videti sliku 9.

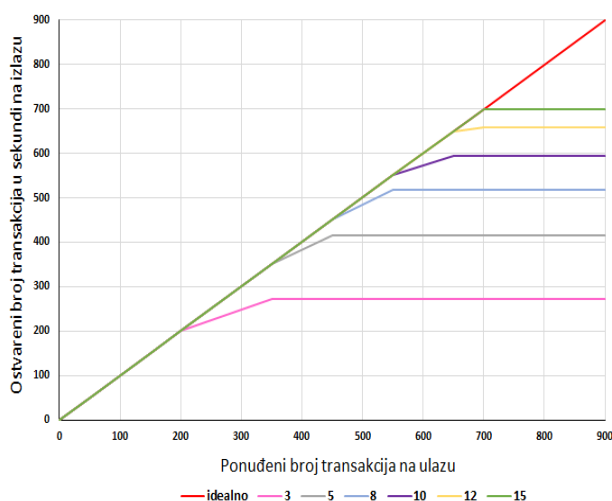


Slika 9. Primer testne mrežne konfiguracije

Karakteristike eksperimentale postavke su sledeće. Lan karakteristike: računarske utičnice su povezane na jedan prekidač Juniper EX-4300. Ovaj prekidač obezbeđuje korisničke pristupne portove od 10/100/1000Mbps i uplinkove od 10Gbps. Mrežni kablovi su UTP kategorije CAT5e. Karakteristike računara: CPU - Intel Corei7-10700 CPU @ 2.90GHz (8 cores x64), MB - Dell 0x8DxD, RAM - 2 module x 16 GB DDR4 @ 2666MHz, HDD - 1TB (Toshiba), Graphics - Intel(R) UHD Graphics 630. Verzija softvera: OS - Windows 10 Enterprise (x64). Python verzija 3.10.5 on win32.

Tabela 1. Dobijeni eksperimentalni rezultati

Čvorova	3	5	8	10	12	15
Transakcija						
50	50	50	50	50	50	50
150	150	150	150	150	150	150
200	200	200	200	200	200	200
350	272	350	350	350	350	350
450	272	415	450	450	450	450
550	272	415	518	550	550	550
650	272	415	518	593	650	650
700	272	415	518	593	659	698
900	272	415	518	593	659	698



Slika 10. Eksperimentalno dobijeni diagram

Dobijeni eksperimentalni rezultati prikazani su u tabeli 1 i na slici 9. Sva testiranja su ponovljena 20 puta radi sigurnosti. U prikazanoj tabeli predstavljene su srednje vrednosti, odstupanja su bila zanemaljiva.

Kolone u tabeli 1 sadrže informacije o broju čvorova u mreži, dok nam redovi govore o ponuđenom broju transakcija. Tabela 1 nam daje pregled ostvarenog broja transakcija u sekundi na izlazu u zavisnosti od broja čvorova u mreži. Eksperimentalno je utvrđeno da povećanje broja čvorova u mreži rezultira povećanju broja dodatih transakcija u sekundi u lanac-blokova, što se vidi iz date tabele 1 i slike 10.

4. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada predstavljena je jedna implementacija lanca-blokova. Prikazana je arhitektura rešenja i način stvaranja potpuno povezane mreže pomoću serverskog procesa rukovaoca. Opisana je način stvaranja novih čvorova, njihovo povezivanje, stvaranje transakcija, njihovo dodavanje u blokove, dodavanje blokova u lanac i njihovo digitalno povezivanje. Prikazani su algoritmi koji se koriste za računanje heš vrednosti, generisanje privatnog i javnog ključa, digitalno potpisivanje transakcija, validaciju transakcija, pronalaženje slučajne vrednosti (engl. nonce), verifikaciju blokova, kao i konsenzus algoritam.

Glavno ograničenje prikazanog rešenja je što je unapred potrebno odrediti broj čvorova koji će učestvovati u stvaranju mreže, taj broj korisnik prosleđuje rukovaocu prilikom njegovog pokretanja. Jednom kada je mreža stvorena i čvorovi povezani nije moguće dodavati nove čvorove u mrežu, iz čega proizilazi da nije postignuto potpuno dinamičko povezivanje čvorova.

Glavna prednost opisanog rešenja je što je lanac-blokova implementiran u Python-u bez upotrebe dodatnih paketa, predstavljajući potpuno nezavisno i samostalno rešenje. Nezavisnost od paketa i tehnika omogućava lako integrisanje ovog rešenja u druge programe i sisteme, predstavljajući osnovu za njegovo dalje dograđivanje.

Zbog korisnih osobina same tehnologije lanca-blokova i nezavisnosti ovog rešenja, moguća je njegova primena u različitim oblastima. Glavni pravac budućeg rada je upotreba lanca-blokova u internetu stvari i pametnim kućama. Jedna od ideja je da se rad primeni na električnim brojilima koji bi činili čvorove u mreži i upisivali svoje trenutne vrednosti.

5. LITERATURA

- [1] Stuart Haber, W. Scott Stornetta, "How to Time-Stamp a Digital Document", In *Journal of Cryptology*, Vol. 3, No. 2, pp. 99-111, 1991.
- [2] Satoshi Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", 2008.
- [3] S. Simić, M. Marković, S. Gostojić, "Smart Contract and Blockchain Based Contract Management System", ECBS, 2021.
- [4] Wang, Su, Zhang, "BSIS for Energy Delivery in Vehicular Energy Network", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 15, Iss. 6, June 2019.
- [5] J. Al-Jaroodi, N. Mohamed, "Blockchain in Industries: A Survey", *IEEE Access*, Vol. 7, 2019.
- [6] J. A. Jaoude, R. Saade, "Blockchain Applications – Usage in Different Domains", *IEEE Access*, Vol. 7, 2019.
- [7] M. Hölbl, "A Systematic Review of the Use of Blockchain in Healthcare", In *Journal Symmetry*, Vol. 10, Iss. 10, 2018.
- [8] <https://github.com/dvf/blockchain?ref=hackernoon.com> (pristupljeno u martu 2021.)
- [9] Daniel van Flymen, "Learn Blockchain by Building One: A Concise Path to Understanding Cryptocurrencies", Apress, 2020.
- [10] R.L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman, "A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems", 1978.
- [11] Rabin, Michael O., "Probabilistic algorithm for testing primality", *Journal of Number Theory*, Vol. 12, No. 1, pp. 128–138, 1980.
- [12] D. Minoli, B. Occhiogrosso, "Blockchain mechanisms for IoT security", In *Journal Internet of Things*, Vol. 1, pp. 1–13, 2018.

Kratka biografija:



Tamara Kuprešanin rođena je u Novom Sadu 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarska tehnika i računarske komunikacije odbranila je 2022. god.

kontakt: tamarakupresanin@gmail.com



Miroslav Popović rođen je u Novom Sadu 1961. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1990. god., a od 2002. je zvanju redovni profesor. Oblast interesovanja su sistemi zasnovani na računarstvu.

NAPREDNA JTAG (JOINT TEST ACTION GROUP) KONTROLNA PLOČA ZA VERIFIKOVANJE ŠTAMPANIH PLOČA U PROIZVODNOM PROCESU

ADVANCED JTAG CONTROLLER BOARD USED FOR VERIFICATION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

Dorđe Đozlija, Vladimir Rajs, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržak – U ovom radu je opisan proces dizajniranja i fabrikacije kontrolne JTAG štampane ploče. Kroz ovaj rad se može vidjeti kako zapravo teče proizvodni proces dizajniranja jedne štampane ploče.

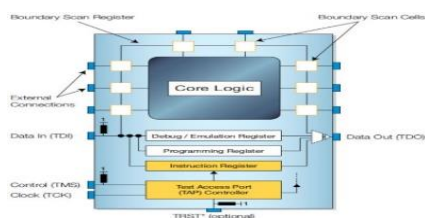
Ključne riječi: Hardver dizajn, štampana ploča, odgovarajuće komponente, blok šeme, lejaut

Abstract – This paper shows development of Advanced JTAG controller board and printed circuit boards in general. Throughout this paper the development can be seen of almost all kinds of PCBs.

Keywords: PCBs, Hardware design, block schemes, necessary components, layout

1. UVOD

Ovde je predstavljen proizvodni proces napredne JTAG kontrolne ploče, čiji je zadatak da služi kao pomoćno sredstvo za verifikovanje drugih ploča tokom njihovog proizvodnog procesa. JTAG ploča je veoma korisna ploča jer ima mogućnost da uoči nepravilnosti kod drugih štampanih ploča [4].



Slika 1. Blok šema JTAG uređaja

2. ZAHTEVI KOJE JTAG PLOČA MORA ISPUNJAVATI

U ovom poglavlju su navedeni neki od najbitnijih zahtjeva koje JTAG ploča mora ispunjavati, u njih spadaju određene funkcionalnosti, komponente koje se moraju koristiti, maksimalna brzina rada ploče, potrošnja same ploče, interfejsi koje ploča mora posjedovati, razne vrste ESD zaštita, indikacije za ispravan rad i mnoge druge funkcionalnosti.

Neki od zahtjeva su:

1. JTAG interfejs mora imati zaštitu od obrnutog polariteta. Ova zaštita ne smije disipovati snagu, takođe i 2 lokalna napajanja

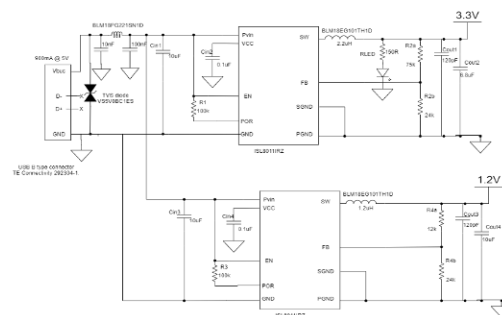
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Rajs, vanr. prof.

2. Čitav JTAG interfejs mora imati ESD zaštitu u skladu sa IEC 61000-4-2; level 4 (ESD) standardom, kao i ostale signalne linije od značaja.
3. JTAG kontrolna ploča mora imati optičku indikaciju u vidu zelene LED diode kada se ustabili naponski nivo od 3.3V
4. JTAG kontrolna ploča mora da koristi Spartan 6 FPGA i STM32F407VGT mikrokontroler

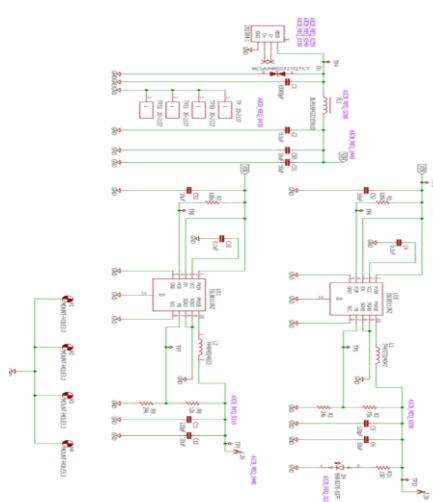
3. BLOK ŠEME PLOČE

3.1 Blok šema napajanja ploče



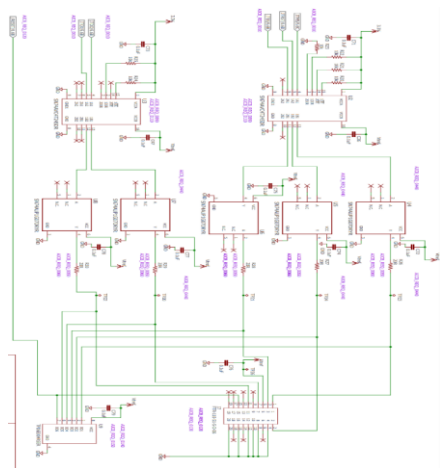
Slika 2. Blok šema napajanja ploče

Razvijen je blok napajanja koji se nalazi na slici 2. To je DC-DC eng. Buck regulator koji se koristi je ISL8011IRZ je sinhroni regulator sa efikasnošću od 95%, iskorišćena su 2 ova eng. Buck regulatora kako bismo dobili 2 lokalna napajanja jedno od 3.3V i jedno od 1.2V. Realizacija je prikazana na slici 3.



Slika 3. Šematik napajanja ploče

osigura sigurnu i jasnu komunikaciju između nakačene ploče i JTAG kontrolne ploče.



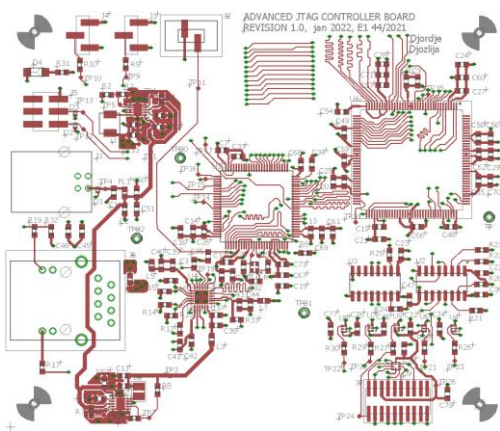
Slika 10 Šematik JTAG interfejsa

4. IZRADA LEJAUTA NAPREDNE JTAG KONTROLNE PLOČE

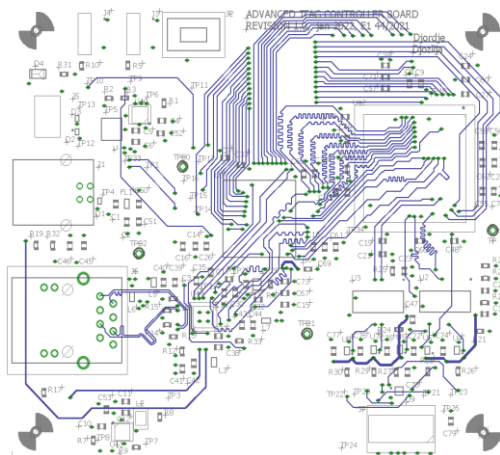
Lejaut napredne JTAG kontrolne ploče je napravljen u 4 sloja (eng. 4-layer stackup), gornji(crveni) i posljednji (plavi) sloj čine provodne linije dok je drugi sloj GND, a treći sloj VDD [8].

4.1 Signalne linije

Na slikama 11 i 12 su prikazane provodne linije gornjeg i donjeg sloja (crvena – gornji, plava – donji)



Slika 11 Gornji sloj s provodnim linijama

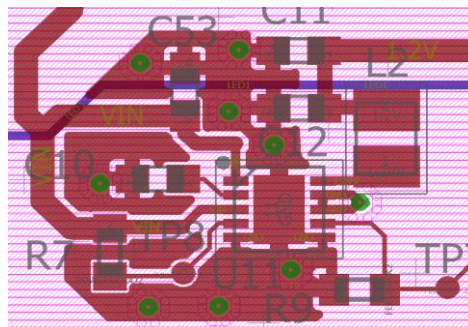


Slika 12 Donji sloj s provodnim linijama

Puno veći broj linija na donjem sloju, tako da što više provodnih linija se spaja na donjem sloju, takođe i ovo su linije kontrolisane impedanse od 50 Ω čiji je referenti sloj GND.

4.2 Via Stiching (postavljanje veće količine vija unutar provodne površine)

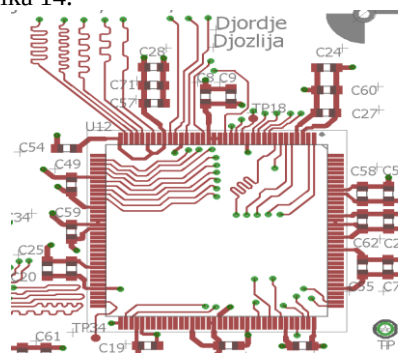
Napajanje bi bilo nestabilno ako bi samo kroz jednu viju ili jednu provodnu liniju vukli napon od 1.2V svuda po ploči. Došlo bi do pregrijavanja i nestabilnosti u samom regulatoru. Realizacija prikazana na slici 13.



Slika 13 Via Stiching

4.3 Decoupling kondenzatori

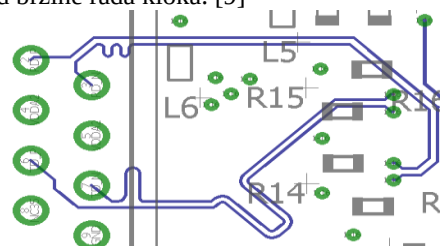
Decoupling kondenzatori moraju biti blizu priključaka komponenti kako bi ta komponenta imala što stabilniji napon, slika 14.



Slika 14. Ispravno postavljeni decoupling kondenzatori

4.4 Postavka provodnih linija iste dužine (length tuning)

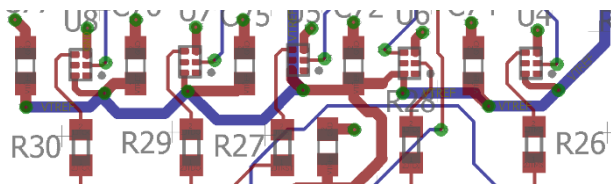
Potrebno je voditi računa o grupacijama provodnih linija, kao što su diferencijalni parovi[3] ili signali koji vezuju komponente s memorijskim komponentama. Ako ploča radi na visokim učestanostima klok signala, određeni parovi moraju biti idealno iste dužine (slika 15) ali to sve zavisi od brzine rada kloka. [9]



Slika 15 Length tuning provodnih linija

4.5 Terminacija signalnih linija

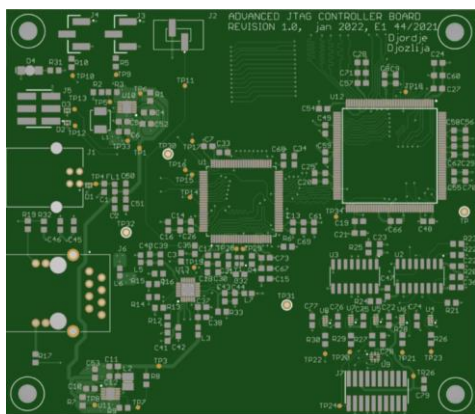
Terminacija signalnih linija je jako bitna jer sprječava pojavu refleksije, smanjuje potencijalne smetnje u prenosu informacija [2]



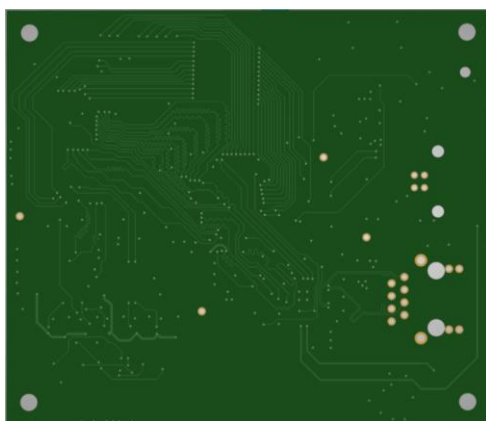
Slika 16. R30, R29, R27, R28, R26 terminacioni otpornici veoma blizu drajvera signala.

5. IZRADA PLOČE I SPISAK POTREBNIH KOMPONENTI (BOM- BILL OF MATERIAL)

Nakon završenog lejauta potrebno je iz datog alata generisati gerber fajlove koji su neophodni da se pošalju firmi koja vrši fabrikaciju štampanih ploča. Slike 17 i 18



Slika 17. Izgled fabrikovane pločice bez komponentni gornji dio



Slika 18. Izgled fabrikovane pločice bez komponentni donji dio

6. ZAKLJUČAK

Dizajn štampanih ploča je veoma zahtjevan i precizan proces gdje dizajner mora da vodi računa o mnogobrojnim stvarima kao što su zahtjevi i njihovo ispunjenje kako bi finalna ploča radila ono za šta je predviđena. Neka su zahtjevi jednostavni dok nekad dizajner mora da provede dosta vremena ne bi li našao ispravnu komponentu ili način na koji će da riješi određeni problem koji mu se nametnuo.

7. LITERATURA

- [1] Uputstvo za rad sa mikrokontrolerom serije STM32F407. Dostupno na: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/STM32F407VGT6?qs=Z8%252BeY1k3TIKAEQqwbO%2FOzA%3D%3D> [maj 2022]
- [2] Datasheet signal drajvera i njegove specifikacije se nalaze na sledecem linku: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74aup1g07.pdf?ts=1653640454785&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F [maj 2022]
- [3] Uputstvo za povezivanje RMI interfejsa: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2019-mii-and-rmii-routing-guidelines-for-ethernet> [maj 2022]
- [4] Detaljnije objašnjenje JTAG-a: <https://www.xjtag.com/about-jtag/what-is-jtag/> [maj 2022]
- [5] Detaljnije objašnjenje mikrokontrolera i evalucionna ploča se nalaze na sledecem linku: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32-eval-boards.html> [maj 2022]
- [6] Opis rada i funkcionalnost TVS diode: https://en.wikipedia.org/wiki/Transient-voltage-suppression_diode [maj 2022]
- [7] Više informacija oko ESD zaštite i uzroka nastanka ESD-a: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/electrostatic-discharge-ESD> [maj 2022]
- [8] Objašnjenje načina izrade pločice u 4 sloja, kao i dodatna uputstva: <https://electronics.stackexchange.com/questions/506926/jlpcb-4-layer-stackup> [maj 2022]
- [9] Rutiranje diferencijalnih parova, kao i svi uslovi koji se moraju ispuniti: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/interactively-routing-differential-pairs-pcb?version=18.1> [maj 2022]

Kratka biografija:

Dorđe Dozlija rođen je 1997 godine u Kozarskoj Dubici, Bih. Završio je Gimnaziju u Kozarskoj dubici 2017 godine. Iste godine upisao Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu. Diplomski rad pod nazivom Instalacija razvojnog okruženja Necto Studio i uputstvo za korišćenje virtualne laboratorije Planet Debug odbranio je 2021. godine.



Vladimir Rajs rođen je 1982. godine u Apatinu. Diplomirao je 2007, a doktorirao 2015. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Od 2016. godine zaposlen je kao docent na Departmanu za elektroniku, energetiku i telekomunikacije FTN-a. Oblasti interesovanja su mu elektronika i primenjena elektronika

**PRIMENA SENZORA U OKVIRU SHM KONCEPTA KROZ REŠENJE KREIRANO
POMOĆU LABVIEW PROGRAMSKOG OKRUŽENJA****APPLICATION OF SENSORS WITHIN THE SHM CONCEPT THROUGH A SOLUTION
CREATED USING THE LABVIEW SOFTWARE ENVIRONMENT**

Borislav Trbović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je opisan značaj primene senzora u mernim uređajima kroz primer jedne bitne oblasti u građevinarstvu poznate pod nazivom „Praćenje stanja građevinskih konstrukcija“ (eng. *Structural health monitoring - SHM*). Takođe, opisan je i sistem koji je realizovan sa ciljem da obezbedi neophodna merenja. Merene su vibracije, uz ređe praćenje temperature. Postoji i mogućnost alarmiranja korisnika u slučaju kritičnih vibracija, filtracija podataka, računanje FFT-a, snimanje dobijenih rezultata, njihovo otvaranje i obrada u nekom od drugih softverskih paketa. Sistem je realizovan unutar LabVIEW programskog okruženja. Višeosni akcelerometar PCB-356A32 je senzor zadužen za merenje vibracija, dok je termopar tipa K korišten kao senzor temperature.

Ključne reči: Senzori, SHM, LabVIEW, Akcelerometar, Termopar

Abstract – The paper presents the importance of using sensors inside measurement devices though the example of their usage within one very important area in constructions known as Structural health monitoring – SHM. Also, the paper presents a system created with the aim to be used to measure significant values inside SHM. It provides measurements like vibration with rarely temperature monitoring. Alarming of the user in case of critical vibrations is possible also, filtering of previous read results, calculating FFT, saving results, their opening or processing inside other softwares. This device is created inside LabVIEW. Triaxial accelerometer PCB-356A32 is a sensor in charge of measuring temperature, while thermocouple acts as temperature sensor.

Keywords: Sensors, SHM, LabVIEW, Accelerometer, Thermocouple

1. UVOD

Razvoj elektronike i elektronskih komponenata omogućio je i konstrukciju mnogih naprednih uređaja koji koriste značajan broj elektronskih komponenata. Ugrubo, konstrukcija elektronskih uređaja izgleda tako što grupa senzora prikuplja željene podatke koje zatim šalje ka mikrokontroleru. Mikrokontroler obrađuje te podatke nakon čega ih šalje ka aktuatorima, uređajima koji izvršavaju tačno definisan zadatak na osnovu instrukcije koja im je poslata.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Bajić, vanr. prof.

Podaci ne moraju biti poslani aktuatorima, oni mogu biti prikazani na displeju ili prosledeni za obradu unutar nekih drugih softverskih alata.

Dakle, senzori imaju veoma značajnu ulogu u ovakvim procesima. To su komponente koje pretvaraju neku od fizičkih veličina u električni signal, nakon čega je te podatke moguće dalje koristiti.

Tema ovog rada je upravo značaj senzora prilikom prikupljanja podataka na primeru njihove upotrebe u okviru SHM koncepta kroz primer realizacije sistema zaduženog za merenje vibracija i temperature. Zadatak je realizovan pomoću LabVIEW platforme za dizajn sistema upotrebom vizuelnog programskog jezika, uz pomoć cDAQ-9178. Za izradu sistema korištene su napredne opcije koje nam LabVIEW nudi.

Neke od korištenih naprednijih struktura su: *Queue*, *Notifier*, *Global Variables*, *FGV*, *User event* i sl., za očitavanje/upis podataka korištena je DAQmx metodologija, a rezultati merenja upisuju se u TDMS datoteke koje mogu biti pregledane unutar kreiranog grafičkog okruženja ili unutar nekih drugih softverskih alata kao što je to npr. MS Excel.

2. STRUCTURAL HEALTH MONITORING (SHM)

Širom sveta uočavaju se razna građevinska i arhitektonska „čuda“, a sve je češća pojava utrkivanja u izgradnji što lepših, komplikovanijih ili izazovnijih građevina. Građevine ni ne moraju biti atraktivne i izazovne, mogu to biti i obične stambene zgrade, međutim akcenat je na komplikovanijim inženjerskim projektima gde su dobar dizajn, kvalitet, izgradnja i trajna sigurnost ciljevi građevinskog inženjerstva.

Neispravne konstrukcije mogu dovesti do ozbiljnih posledica ako infrastruktura nije dobra. Na primeru nuklearnih elektrana ili cevovoda može se zaključiti da, u slučaju neadekvatne infrastukture, može doći do gubitka ljudskih života ili ekoloških zagađenja koja mogu imati veoma ozbiljne posledice. Pored toga, propast pojedinih građevinskih poduhvata mogu dovesti i do velikih finansijskih gubitaka.

Međutim, nije samo loše planiranje i projektovanje novih građevina jedina stvar o kojoj je potrebno povesti računa, propast istorijski značajnih spomenika i građevina predstavlja nenadoknadiv kulturni gubitak.

Najsigurnije i najdugovečnije strukture su one kojima se dobro upravlja, gde merenje i praćenje imaju suštinsku ulogu tokom pomenutog upravljanja.

Structural Health Monitoring – SHM sinonim je za neophodna merenja i posmatranja koja nam omogućavaju praćenja u pomenutim upravljanjima. SHM predstavlja proces praćenja ili procene stanja konstrukcije kako bi se prikupile informacije o njenom trenutnom stanju praćenjem parametara kao što su vibracije, naprezanje, stres i drugi fizički fenomeni, reakcije i uslovi.

SHM ima za cilj da obezbedi tačne i blagovremene informacije o stanju konstrukcije. Informacije dobijene ovakvim praćenjem generalno se koriste za planiranje i projektovanje održavanja, povećanje bezbednosti, verifikovanje hipoteza, smanjenje neizvesnosti i proširenje znanja o strukturi koja se prati [1].

3. POSTUPAK MERENJA

Sistem za merenje je realizovan upotrebom cDAQ-9178 pričvršćenog na istom postolju sa NI DSA Demobox. NI DSA Demobox je uređaj za simulaciju zvučnih signala i signala vibracija. Na njemu su pričvršćeni senzori za očitavanje vibracija i ventilator.

Merenja su vršena tako što se preko modula povezanog na cDAQ, uz pomoć DAQmx metodologije, na ventilator upisuje pobudni napon čime se ventilator pokreće simulirajući time vibracije. Senzori očitavaju vibracije koje se DAQmx metodologijom prikupljaju na računaru gde se vrše proračuni i proveravaju rezultati.



Slika 1. Izgled sistema: cDAQ-9178 (iznad) i DSA Demobox (ispod)

Ventilatoru se, preko korisničkog interfejsa, zadaje oblik, amplituda i frekvencija signala koji ga pobuđuje. Iz pročitanih vibracija, proračunavanjem FFT (eng. *Fast Fourier transform* – brza Furijeova transformacija), dobija se frekvencija okretanja ventilatora, čime se i testiraju dobijeni proračuni.

Takođe, vrši se i filtracija vibracija. Moguća je upotreba niskopropusnog, visokopropusnog filtra, filtra propusnika i filtra nepropusnika opsega.

4. LabVIEW

LabVIEW predstavlja integrisano razvojno okruženje dizajnirano sa ciljem da ubrza produktivnost inženjera. Neke od prednosti prilikom upotrebe LabVIEW-a su te da je on integrisan unutar National Instruments (NI) i srodnih platformi, zatim omogućava kreiranje korisničkog interfejsa, a sve to uz pomoć grafičkog programiranja. Karakteriše ga upotreba standardnih petlji i struktura, kao

i u ostalim programskim jezicima, uz upotrebu standardnih tipova podataka. Omogućen je i rad sa nizovima (1D i 2D) i upis/čitavanje fajlova.

Pored pomenutih zajedničkih karakteristika LabVIEW sadrži i značajne razlike zbog kojih se njegova upotreba smatra kao prednost.

Kada su strukture u pitanju, izdvaja se tzv. „Event“ struktura koja izvršava određeni deo programa u odnosu na događaj koji je unešen od strane korisnika. Od tipova podataka može da se izdvoji „Waveform“ tip podatka za opisivanje talasnog oblika. Međutim najznačajnije je tzv. „Modularno programiranje“ kao i mogućnost paralelnog izvršavanja programa. Ovo je moguće upotrebom naprednih mehanizama po kojima je jedinstven.

5. cDAQ-9178 I NJEGOVI MODULI

Nastavak teksta sadrži opis hardverskih komponenata korištenih pri realizaciji ovog sistema. cDAQ (eng. *compact Data Acquisition* - kompaktno prikupljanje podataka) kreirana su sa ciljem da se koriste kao prenosni merni sistemi. Karakterišu ih male dimenzije i ideja o ostvarivanju veze sa računarom povezivanjem preko USB kabla čime se na jednostavan način pristupa senzorskim merenjima [2]. cDAQ-9178, korišteno pri izradi ovog zadatka, sadrži osam slotova za povezivanje modula.

Na slici 2. prikazan je izgled kućišta cDAQ. Moduli korišteni za očitavanje neophodnih merenja su:

1. NI 9211 - modul za termoparove,
2. NI 9234 - modul za analogne ulaze i
3. NI 9263 - modul za analogne izlaze.



Slika 2. cDAQ kućište (levo) povezano na računar [2]

6. SENZORI

Senzor PCB-356A32 zadužen je za merenje vibracija. Iako je ovo troosni senzor (može da meri vibracije po X, Y i Z osi), prilikom realizacije ovog zadatka senzori su postavljeni tako da mere pojedinačno vibracije po X i po Y osi. Osetljivost ovog senzora je 100mV/g, a operativan je u frekvencijskom opsegu od 1 Hz do 4000 Hz [3].

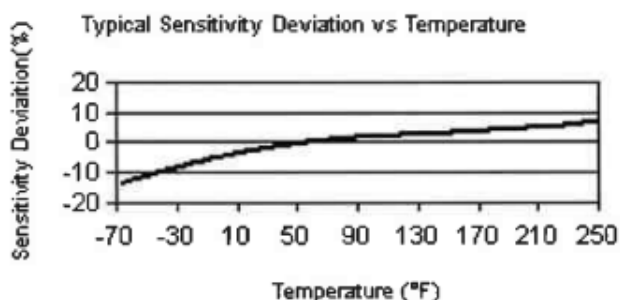
U ovom radu, pored vibracija, obezbeđeno je i merenje temperature. Ovo merenje ima dvojak značaj, pored toga što može biti iskorišteno u okviru SHM koncepta, što je bio i cilj.

Temperaturna merenja mogu da se upotrebe i za računanje devijacije osetljivosti senzora vibracije za neočekivano niske/visoke temperature. Osetljivost senzora pri tim temperaturama odstupa $\pm 10\%$ (pogledati sliku 4).



Slika 3. Akcelerometar PCB-356A32 [3]

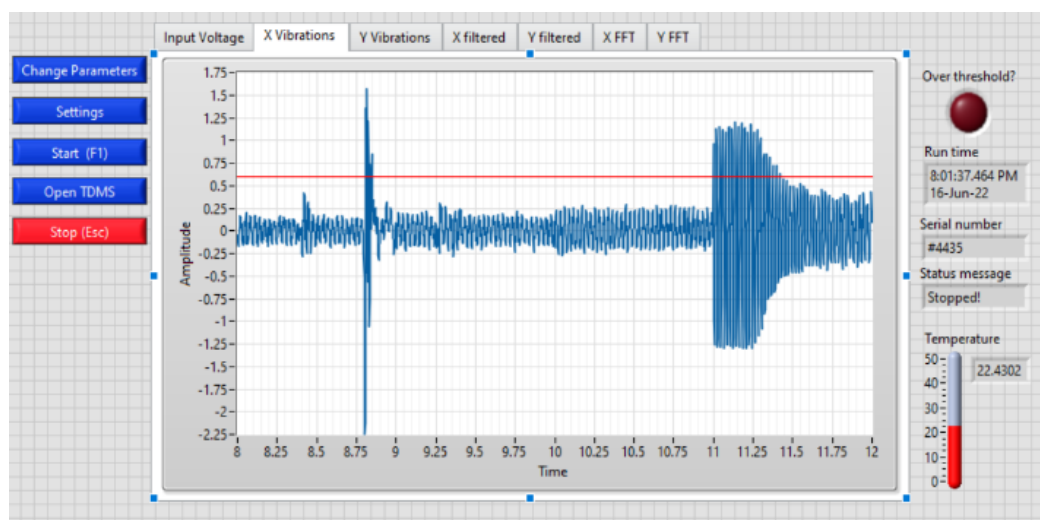
Za merenje temperature u ovom zadatku zadužen je bio termopar K tipa. Termopar je uređaj koji se sastoji od dva različita provodnika koji zajedno čine električni spoj. Princip rada termopara je taj da on prizvodi napon zavistan od temperature, a ovaj napon može biti konvertovan tako da se pomoću njega izrazi temperatura.



Slika 4. Promena parametara senzora PCB-356A32 sa promenom temperature [3]

7. REALIZACIJA SISTEMA ZA MERENJE

Korisnički interfejs i izgled sistema izgleda kao na slici 6. Na istoj slici može da se vidi i primer merenja koje prikazuje očitane vibracije po X osi, sa zadatim pragom (za način unošenja vrednosti praga pogledati sliku 7). Leva strana korisničkog interfejsa sastoji se od tastera koji služe za pokretanje i zaustavljanje merenja, tastera za podešavanje parametara hardvera (*Change parameters*), tastera za podešavanje parametara merenja (*Settings*) i tastera za otvaranje TDMS datoteka, datoteka unutar kojih se nalaze (prethodno) očitani rezultati. Sa desne strane nalazi se indikacija da li su očitane vibracije prekoračile prag koji je zadat u parametrizaciji testa (vrednosti unutar *X* i *Y threshold*),

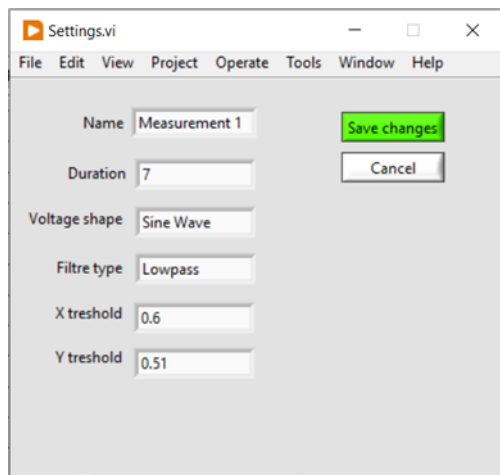


Slika 6. Izgled korisničkog interfejsa sistema, sa prikazom izmerene temperature i vibracija po X osi

serijski broj merenja, datum početka poslednjeg merenja i indikacija trenutno izmerene temperature. Slika 5. sadrži prikaz podešavanja parametara hardvera. Moguće je podešavanje temperaturnih očitavanja odabirom kanala, opsega temperature i jedinice merenja. Zatim, podešavanje kanala sa kojih se očitavaju vibracije (unutar *Analog Input Settings* okvira) i kanal, frekvenciju i amplitudu signala za pobuđivanje ventilatora koji se nalazi na ploči.

Slika 5. Podešavanje parametara hardvera

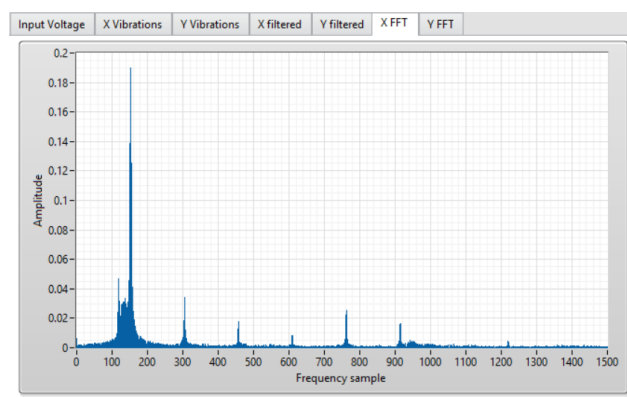
Slika 7. sadrži prikaz podešavanja parametara merenja. Ova podešavanja sadrže naziv narednog seta merenja, definisanje dužine merenja u sekundama, definisanje oblika signala za ventilator, tip filtra za filtriranje očitanih vibracija, podešavanje praga kritičnih vibracija koje ne bi smele biti prekoračene po X i Y osi. Na slici 6. prikazan je i primer izmerene temperature, gde se vidi očitana brojčana vrednost, a postoji i indikacija u vidu termometra.



Slika 7. Podešavanje parametara merenja

Sa slike 6. vidi se da lampica „Over threshold?“ svetli crveno sto znači da su vibracije iznad kritične vrednosti. U slučaju da su svi odbirci vibracije ispod zadatog praga, lampica svetleli zeleno.

Slika 8. sadrži prikaz *FFT*-a za vibracije sa slike 6. Kako je ventilatoru koji služi za simulaciju vibracija zadata frekvencija od 100Hz (pogledati podešavanja *Analog Output settings* sa slike 5.), može se uočiti da je ta frekvencija dominantna među ostalima, šta je očekivano.

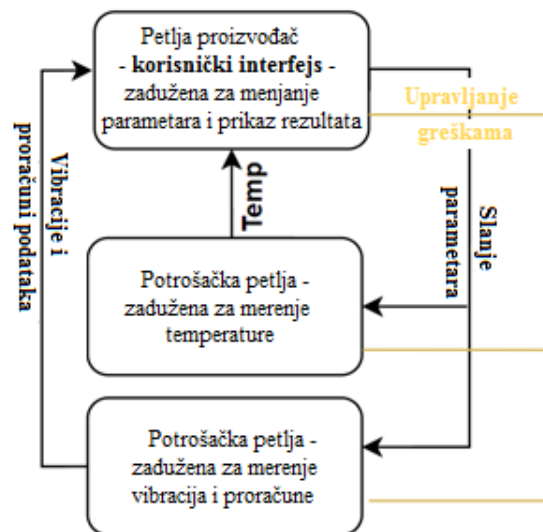


Slika 8. Rezultati *FFT*-a za prikazane *X* vibracije

8. PRINCIP RADA SISTEMA

Sistem za merenje je realizovan upotrebom tri *while* petlje koje se izvršavaju paralelno, od kojih prva petlja predstavlja petlju korisničkog interfejsa. Ova petlja omogućava promenu parametara, koje zatim prosleđuje petljama za merenje temperature i vibracija. Pored promene i slanja parametara ima zadatak prikaza rezultata u indikatorima i na graficima. Petlja korisničkog interfejsa odlučivanje vrši upotrebom *Event* strukture. Petlje su sinhronizovane i rade u paraleli, a njihovo izvršavanje zaustavlja se upotrebom *Notifier*-a koji čuva vrednost o njihovom pokretanju/zaustavljanju.

Petlja za merenje temperature prihvata ranije definisane parametre temperaturnog merenja (pogledati sliku 5). Temperatura se očitava sa razmakom od jedne sekunde, a rezultat se pamti unutar *FGV*-a (eng. *Functional global variable*), preko koje se šalje korisničkom interfejsu gde se prikazuje.



Slika 9. Algoritam rada sistema za merenje

Petlja za merenje vibracija, prihvata parametre za podešavanje merenja (parametri sa slike 5. i 6.), generiše pobudni napon na ventilatoru, meri vibracije, vrši njihovu filtraciju i računa *FFT*. Sve izmerene i proračunate podatke smešta unutar *Queue*-a, preko kojih ih šalje korisničkom interfejsu za prikaz.

Takođe, upotrebom klastera greške (eng. *error cluster*) obezbeđen je mehanizam uočavanja i otklanjanja grešaka koje se mogu javiti prilikom rada programa.

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je sistema koji bi se koristio u okviru *SHM*-a. Ovakva implementacija merodavna je za upotrebu u realnim *SHM* sistemima.

Jedno od mogućih unapređenja ovakvog sistema bila bi upotreba većeg broja senzora. Često su senzori jedne od skupljih komponenata, a kako je ovaj rad rađen za potrebe master rada nabavka više različitih senzora predstavljala je ograničenje. Upotrebom većeg broja senzora obezbedila bi se dodatna merenja kao što su vlažnost, pritisak, struktura materijala i sl., a kako trenutno rešenje sadrži dosta neiskorištenog hardverskog prostora povećavanje broja senzora ne bi predstavljalo problem.

10. LITERATURA

- [1] Branko Glišić, Daniele Inaudi, „*Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring*“, Switzerland, John Wiley & Sons, 2007.
- [2] <https://www.ni.com/en-rs/support/model.cdaq-9178.html> (pristupljeno u junu 2022.)
- [3] <https://www.pcb.com/products?m=356A32> (pristupljeno u junu 2022.)

Kratka biografija:



Borislav Trbović rođen je u Somboru 1995. godine. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka 2018., na departmanu za Energetiku, elektroniku i telekomunikacije, na usmerenju za Primenjenu elektroniku. Master rad na istom usmerenju odbranio je u julu 2022. Kontakt: mborislavsr@gmail.com

INTELLIGENTNI TUTORING SISTEM ZA OBUKU INŽENJERA SOFTVERA AN INTELLIGENT TUTORING SYSTEM FOR TRAINING SOFTWARE ENGINEERS

Luka Dorić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA

Kratak sadržaj – U sklopu ovog rada je dizajniran i implementiran inteligentni tutoring sistem. Opisane su teorijske osnove na kojima se sistem zasniva, arhitektura sistema, empirijska evaluacija sistema kao i unapređenja koja nas čekaju u narednom periodu. Rezultat rada jeste platforma za učenje koja nosi naziv *Clean CaDET Tutor* koji se primenjuje na nekoliko predmeta na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu.

Ključne reči: ITS, tutor, učenik, nastavnik, KLI.

Abstract – As part of the work, an intelligent tutor system was designed. The theoretical foundations on which the system is based, the architecture of the system, the empirical evaluation of the system as well as the improvements are described. The result of the work is a learning platform called *Clean CaDET Tutor* which is applied to several courses at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad.

Keywords: ITS, tutor, learner, teacher, KLI.

1. UVOD

Obrazovanje je kroz istoriju tretiralo učenika ne kao pojedinca već kao grupu koju je potrebno naučiti gradivo sa ciljem da reše određene zadatke. Današnje prenošenje znanja se primenjuje kao i testovi za proveru prenetog znanja generalizovano na skup učenika koji dele istu učionicu.

Kako su se vremenom razvile nove tehnologije i elektronsko učenje (engl. *E-learning*) [2] pokazali smo da smo sposobni da znanje prenesemo i elektronskim putem. Elektronsko učenje kao rezultat integracije informacionih tehnologija i obrazovanja brzo je ovladalo svetom kao moćan medij učenja. Prema podacima [2] 99% visokoškolskih ustanova ima sisteme za upravljanje učenjem (engl. *LMS – Learning Management System*) [3] i sve se više koriste u sklopu univerziteta. Ono što nam *LMS* pruža jeste serviranje materijala i praćenje rada učenika elektronskim putem. Svakako ni ovakvim pristupom prvobitni problem nije rešen, jer *LMS* ne podrazumeva da je učenje personalizovano i oblikovano prema pojedincu.

Savremena istraživanja iz oblasti elektronski podržanog učenja su usmerena na to da se elektronsko učenje putem *LMS-a* popne na lestvicu iznad. Cilj je da se postigne personalizovano učenje gde bi se pratio napredak i stanje učenika u određenoj oblasti. Na osnovu njegovog modela sistem servira odabrani materijal i zadatke kako bi optimizovao proces učenja. Grana istraživanja koja se bavi ovim

problemom razvija tzv. Inteligentne tutoring sisteme (engl. *Intelligent Tutoring System; ITS*) kako bi pružili učeniku personalizovano učenje u skladu sa njegovim performansama iz određene oblasti. Dakle treba napraviti razliku između grupe i pojedinca i posmatrati učenika individualno sa akcentom na njegovo trenutno znanje.

Rad je podeljen u pet poglavlja. U drugom poglavlju su opisane teorijske osnove na kojima se *Tutor* zasniva, u trećem poglavlju je predstavljena arhitektura sistema, u četvrtom empirijska evaluacija dok je peto poglavlje ostavljeno za diskusiju tj. metrike i tehnike koje su korišćene za evaluaciju *Tutora*.

2. TEORIJSKE OSNOVE

U ovom poglavlju biće predstavljene teorijske osnove na kojima se *Tutor* zasniva, što uključuje:

- generalni opis inteligentnih tutoring sistema,
- pomoću kakvog radnog okvira (engl. *Framework*) je *Tutor* modelovan.

2.1. Inteligentni tutoring sistemi

Inteligentni tutoring sistemi su sistemi bazirani na veštačkoj inteligenciji (engl. *AI-based computer system*) koji pružaju učeniku (engl. *Learner*) personalizovane instrukcije i povratne informacije (engl. *Feedback*) bez potrebe za intervencijama čoveka odnosno tradicionalnog učitelja (engl. *Human Teacher*) [4]. Cilj inteligentnog tutoring sistema je da pruži personalizovano podučavanje učeniku i da zameni generalizovanje u nastavi kako bi svakom učeniku pružio visokokvalitetno obrazovanje oblikovano na osnovu njegovih performansi iz određene oblasti [5].

2.2. KLI radni okvir

Osnova za domenski model oko kog je *Tutor* kao softver izgrađen jeste *Knowledge-Learning-Instruction (KLI)* radni okvir [6].

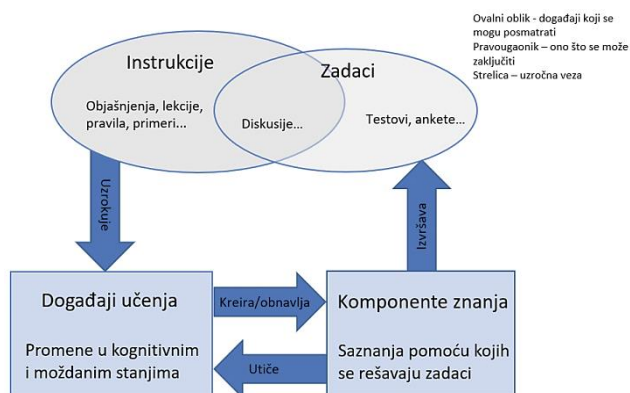
KLI specificira tri taksonomije - vrste znanja (engl. *Kinds of knowledge*), vrste procesa učenja (engl. *Kinds of learning processes*) i vrste izbora koje imamo u nastavi (engl. *Kinds of instructional choices*). Takođe definiše veze između njih, kako vrste znanja ograničavaju proces učenja i kako procesi učenja ograničavaju optimalne vrste izbora u nastavi kako bi se produkovalo robusno učenje. Učenje je robusno kada se znanje koje stičemo: ugo zadržava, odnosno sporo zaboravlja, primenjuje u novim kontekstima koje se razlikuju od konteksta prisutnih tokom učenja, ubrzava buduće učenje u novim kontekstima.

KLI radni okvir definiše skup događaja koji se mogu i koji se ne mogu direktno posmatrati – događaji učenja (engl. *Learning events*), instrukcije (engl. *Instructional events*) i zadaci (engl. *Assessment events*) (slika 2.1).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio doc. dr Nikola Luburić.

Od prethodno navedenih događaja instrukcije i zadaci su događaji koji se mogu posmatrati i na koje nastavnik ima direktnog uticaja. Događaji učenja predstavljaju promene u kognitivnim i moždanim stanjima koje ne možemo direktno posmatrati. Kao što se može videti na slici 2.1 u okviru KLI-a je prisutna i komponenta znanja (*engl. Knowledge Component*) koja je zadužena za opis delova saznanja.

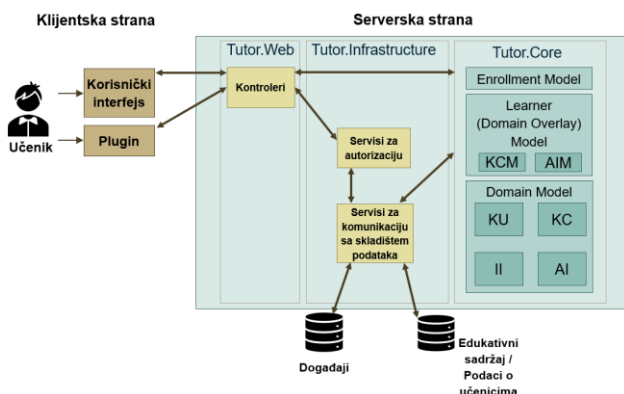


Slika 2.1 Model KLI radnog okvira

3. ARHITEKTURA SISTEMA

U ovom poglavlju biće opisana arhitektura *Tutor-a* i na koji način učenici interaguju sa njim.

Ekosistem *Tutor-a* sastoji se od klijentske i serverske strane. Klijentsku stranu čine korisnički interfejs (*engl. User interface*) i *plugin*. Serversku stranu čine projekti *Core*, *Infrastructure* i *Web* (slika 3.1).



Slika 3.1 Ekosistem Tutor-a

3.1. Serverska strana

Serverska strana je sačinjena od *Web*, *Infrastructure* i *Core* projekata. *Core* projekat sadrži svu poslovnu logiku i ne referencira preostala dva projekta. *Infrastructure* projekat sadrži sve pakete potrebne za integraciju sa skladištem podataka. Pored rada sa skladištem podataka ovaj projekat je zadužen i za bezbednost korisnika, odnosno za generisanje i validaciju *JSON Web Token-a* [7].

Tutor.Web projekat je zadužen za registraciju pristupnih tačaka (*engl. Endpoint*) *Tutor* projektima. Preko *Web* sloja *Tutor* klijentska strana (*engl. Frontend*) [8] komunicira sa serverskom stranom.

3.2. Klijentska strana

Klijentska strana sačinjena je od korisničkog interfejsa i *plugin-a*. Preko njih učenik interaguje sa *Tutor-om* tj. prolazi kroz gradivo, radi zadatke i prati statistike.

3.2.1 Korisnički interfejs

Korisnički interfejs je glavna veza između učenika i *Tutor-a*. Kroz njega učenik ima mogućnost da prolazi kroz gradivo, potom da radi zadatke i prati svoju statistiku i napredak.

3.2.2 Plugin

Kako u sklopu platforme postoje zadaci koji u sebe uključuju refaktorisanje koda kreiran je *plugin* za te potrebe [9]. Ideja je da učenici urade refaktorisanje koda na osnovu zadatka koji im je zadat i potom da ga pošalju platformi na evaluaciju kako bi nazad dobili odgovor da li su uradili sve što se očekuje od njih. Takođe u sklopu *plugin-a* učenici imaju mogućnost da zatraže smernice od platforme kako bi lakše rešili zadatak.

4. EVALUACIJA PLATFORME

U ovom poglavlju biće predstavljeni negativni efekti koji mogu biti izazvani kod učenika kroz njihov rad sa *ITS-om*. Potom će biti prikazani rezultati ankete koja je sastavljena da se ispituju određeni negativni efekti kod učenika. Anketa je sprovedena nad učenicima koji su aktivno koristili *Tutor-a* dva meseca kroz nastavu.

4.1. Neželjena ponašanja sistema

U procesu razvoja *ITS-a* obično se stremi ka tome da se optimizuju procesi ljudskog učenja. Pelánek ističe [10] da je korisnije izbegavanje neželjenih ponašanja sistema (*engl. Undesirable behavior*) nego traženje načina kako da optimizujemo učenje sve u cilju kako bi unapredili okruženje za učenje.

Prema Pelánek-u, poenta je detektovati ponašanja koja su očigledno pogrešna (*engl. Clearly wrong behavior*) ili propuštene prilike (*engl. Missing behavior*) u sistemu. Primeri pogrešnog ponašanja sistema su prihvatanje netačnog odgovora učenika ili prikazivanje loše smernice. Primeri propuštenih prilika su loša navigacija sistema gde učenik ne može da nađe materijale koji su mu potrebni. Dakle pod neželjena ponašanja bi se mogla podvesti pogrešna ponašanja i propuštene prilike sistema.

Ponašanje sistema je bilo koja akcija koja je vidljiva iz učenikove perspektive, dok je propuštena prilika neobavljena akcija. U ovom kontekstu pod pogrešno ponašanje se smatra onakvo ponašanje koje ima negativan uticaj na dugoročno učenje. Ovakav uticaj može prouzrokovati razna neželjena ponašanja poput nedovoljne motivacije, nepoverenja, neefektivnog učenja itd. Propuštena prilika je akcija koja bi unapredila dugotrajno učenje po malu cenu.

4.2. Defekti, neželjena ponašanja sistema i neželjeni efekti kod učenika

Neželjena ponašanja su ponašanja sistema koja će imati negativan uticaj na učenike. Kako bi napravio jasnu razliku između uzroka (*engl. Causes*) i efekata (*engl. Effects*) Pelánek ističe terminologiju koja se koristi u softverskom inženjerstvu kako bi se opisale softverske anomalije [10]. *IEEE* standard razlikuje defekte (*engl. Defects*), neuspehe (*engl. Failures*) i probleme (*engl. Problems*) [11] i definiše ih na sledeći način. Defekti su specifični nedostaci proizvoda (greška u kodu). Defekti mogu da prouzrokuju neuspehe, odnosno to je događaj kada proizvod nema željene akcije. Neuspesi obično vode ka problemu, što predstavlja negativna iskustva ljudi koji koriste proizvod.

Pelánek koristi naziv neželjeno ponašanja sistema umesto neuspeha, dok umesto problema koristi negativan efekat na učenike.

4.3. Negativni efekti kod učenika

Pomoću dobrog modela negativnih efekata lakše se može utvrditi koje akcije sistema (neželjena ponašanja sistema) su odgovorne za neželjene efekte kod učenika.

Uočeni negativni efekti kod učenika su sledeći: nepoverenje, nezainteresovanost, frustracija, neefektivno učenje, neefikasno učenje, demotivacija i nekompetentnost, neupotreba, zloupotreba i slabe performanse.

4.4. Anketa

Kako bi ispitali na koji način *Tutor* utiče na kognitivne procese učenika koji ga koriste sastavljena je anketa na osnovu gore opisanih negativnih uticaja na učenike [10]. Anketa je sprovedena nad učenicima koji su koristili *Tutor-a* dva meseca u učionicama u sklopu nastave. *Tutor-a* je na raspolaganju imalo 70 učenika od čega je na anketu odgovorilo 59 učenika. Anketa je sastavljena od da-ne pitanja, „Smatram da...” pitanja, gde student vrednuje slaganje sa tvrdnjom na Likert skali od 1 do 5 i pitanja u obliku slobodne forme.

Kako bi ispitali poverenje učenika kod korišćenja *Tutor-a* postavljena su sledeća pitanja „Smatram da je korisnički interfejs *Tutor-a* intuitivan i lak za korišćenje“, „Smatram da je *Tutor* pouzdan alat za učenje.“ i „Smatram da je gradivo kvalitetno, jasno i dobro pripremljeno.“.

Na prvo pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 45.8% učenika se potpuno slaže, 50.8% učenika se slaže, 3.4% učenika nema mišljenje.

Na drugo pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 50.8% učenika se potpuno slaže, 40.7% učenika se slaže, 8.5% učenika nema mišljenje.

Na treće pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 42.4% učenika se potpuno slaže, 47.5% učenika se slaže, 8.5% učenika nema mišljenje, 1.7% učenika se ne slaže.

Kako bi ispitali nezainteresovanost kod učenika prilikom korišćenja *Tutor-a* postavljena su sledeća pitanja: „Smatram da je ponuđeno gradivo dovoljno dobra priprema za zadatke.“, „Imao\la sam motivaciju prilikom rešavanja zadataka.“, „Bio\la sam fokusiran\la i angažovan\la u radu sa *Tutorom*.“, „Koristio\la bih *Tutora* i na drugim kursovima.“.

Na prvo pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 33.9% učenika se potpuno slaže, 42.4% učenika se slaže, 20.3% učenika nema mišljenje, 3.4% učenika se ne slaže.

Na drugo pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 40.7% učenika se potpuno slaže, 28.8% učenika se slaže, 18.6% učenika nema mišljenje, 6.8% učenika se ne slaže, 5.1% učenika se potpuno ne slaže.

Na treće pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 16.9% učenika se potpuno slaže, 49.2% učenika se slaže, 22% učenika nema mišljenje, 6.8% učenika se ne slaže, 5.1% učenika se potpuno ne slaže.

Na četvrto pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 28.8% učenika se potpuno slaže, 33.9% učenika se slaže, 16.9% učenika nema mišljenje, 13.6% učenika se ne slaže, 6.8% učenika se potpuno ne slaže.

Kako bi se ispitala prisutnost frustracije učenici su pitani da li smatraju da povratne informacije ili odgovori dobro

objašnjavaju rešenje zadatka. Učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 45.8% učenika se potpuno slaže, 42.4% učenika se slaže, 11.9% učenika nema mišljenje.

Kako bi ispitali neefektivno učenje postavljena su sledeća pitanja: „Da li si na neka pitanja odgovorio\la samo tako što si zapamtio\la tačne odgovore (bez razumevanja)?“, „Smatram da sam puno naučio\la kroz rad sa *Tutor-om*.“, „Uspeo\la sam da primenim znanje stečeno korišćenjem *Tutor-a* na unapređenje projektnog zadatka.“

Na prvo pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 79.7% učenika odgovorilo je potvrdno, 20.3% učenika odgovorilo je odrično.

Na drugo pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 35.6% učenika se potpuno slaže, 42.4% učenika se slaže, 20.3% učenika nema mišljenje, 1.7% učenika se ne slaže.

Na treće pitanje učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 64.4% učenika se potpuno slaže, 23.7% učenika se slaže, 11.9% učenika nema mišljenje.

Kako bi ispitali neefikasno učenje učenici su pitani da li im je tempo rada bio spor.

Učenici su odgovorili u sledećem odnosu: 3.4% učenika se potpuno slaže, 22% učenika se slaže, 33.9% učenika nema mišljenje, 32.2% učenika se ne slaže, 8.5% učenika se potpuno ne slaže.

5. DISKUSIJA

U okviru ovog poglavlja će biti sabrani predlozi učenika prikupljeni kroz anketu i platformu. Dalje na osnovu predloga i rezultata biće predstavljeni pravci u kojima će se *Tutor* kao softver razvijati i šta je na osnovu sprovedene ankete zaključeno. Na kraju biće opisana ograničenja koja smo imali u sklopu validacije platforme.

5.1. Unapređenja platforme

Na osnovu ankete i predloga učenika za unapređenje formiralo se nekoliko kategorija za unapređenje platforme: unapređenja vezana za upotrebljivost platforme, unapređenja vezana za nove funkcionalnosti i unapređenja vezana za sadržaj platforme. Konkretna unapređenja su sledeća: poboljšanje navigacije između zadataka i gradiva, unapređenje u boji i veličini delova teksta, samostalan odabir zadataka, pregled profila učenika gde bi mogao da prati svoj napredak, pristup beleškama na bilo kojoj stranici i održavanje trenutnog kvaliteta gradiva.

5.2. Ograničenja

U sklopu evaluacije platforme postoje određena ograničenja koja treba uzeti u obzir. Kao ograničenja izdvojeni su: uzorak studenata, rad u učionici uz pomoć asistenta, primena platforme na relativno mali broj predmeta.

Kod prvog ograničenja postoje dva podograničenja tj. mali broj učenika koji je koristio *Tutor-a* i činjenica da su to studenti koji su među boljima iz oblasti računarstva. Sa obzirom da je platformu koristilo 58 učenika u periodu od dva meseca a da je na anketu odgovorilo 36 učenika ne možemo sa sigurnošću da tvrdimo kakve bi rezultate dobili da se *Tutor* skalira na više studenata. Takođe ne znamo kako bi se učenici sa slabijim predznanjem snašli u korišćenju platforme.

Kod drugog ograničenja je naveden rad uz pomoć asistenta jer su učenici koristili *Tutor-a* uglavnom u kontrolisanim

uslovima u okviru učionice gde su na raspolaganju imali pomoć asistenta ukoliko dođe do određenih problema. Svakako ti nedostaci platforme odnosno situacije gde je asistent morao da pomogne učenicima mogu biti upotpunjeni u narednoj iteraciji korišćenja platforme.

Treće ograničenje se odnosi na usko gradivo koje je pokriveno. Za sada je *Tutor* korišćen samo u oblasti čistog koda. Postavlja se pitanje kako bi se pokazao u drugim oblastima računarstva ili generalno druge tematike i kako bi dizajneri kursa ili tradicionalni učitelji predstavili gradivo kroz *Tutor-a*.

6. ZAKLJUČAK

U radu je opisana motivacija za izgradnju *ITS-a*. Opisana je tok razvoja obrazovanja do današnjeg vremena i razlozi zbog kojih bi imalo smisla da se softver poput *Tutor-a* uvede u svakodnevnu nastavu.

Potom su predstavljene teorijske osnove. Opisani su: inteligentni tutoring sistemi, elementi *KLI* radnog okvira na kojima se *Tutor* kao softver zasniva, na koji način se sistem prilagođava, kako se modeluju komponente znanja kako bi postigli robusno znanje kod učenika.

Opisana je ekosistem *Tutor-a* tj. delovi od kojih se sastoji sa akcentom na serversku stranu i njegovu arhitekturu. Detaljnije su predstavljeni slojevi značajni za razvoj inteligentnih tutoring sistema.

Rad se zasniva na evaluaciji sistema tako da kroz rad učenika koji je trajao dva meseca uočimo koje su to slabe tačke *Tutor-a* koje bi mogle da prouzrokuju negativne efekte kod učenika. Na osnovu evaluacije platforme koja u sebe uključuje i konkretne kritike učenika plan je da se platforma unapredi za sledeću iteraciju korišćenja što ujedno predstavlja i budući rad. Po ugledu na određena istraživanja iz oblasti inteligentnih tutoring sistema izdvojili smo neke od najčešćih nepoželjnih ponašanja sistema koja izazivaju negativne efekte kod učenika. Na osnovu tih neželjenih efekata sastavljena je anketa kroz koju su učenici iskazali svoje mišljenje o *Tutoru*.

Takođe u sklopu rada su predstavljeni i ograničenja koja smo imali prilikom evaluacije platforme. Kako bi prevazišli pomenuta ograničenja u budućem radu platforma će obuhvatiti širi skup učenika i druge domene podučavanja.

Svakako u budući rad se mogu podvesti i nove funkcionalnosti koje bi sistem mogao da pruži poput naloga za učitelje gde bi mogli da prate napredak svojih učenika u okviru kursa, praćenja emocija učenika, režim *Tutor-a* u kom bi učenici imali priliku da kolaborativno rešavaju zadatke.

7. LITERATURA

- [1] GitHub Clean-CaDET Tutor. [Na mreži] [Citirano: 17 5 2022.] <https://github.com/Clean-CaDET/tutor>.
- [2] *Evaluating E-learning systems success: An empirical study*. Al-Fraihat, D., Joy, M. and Sinclair, J. 2020, Computers in Human Behavior, 102, str. 67-86.
- [3] *Understanding Faculty Use of the Learning Management System*. Rhode, J., Richter, S., Gowen, P., Miller, T. and Wills, C. 2017, Online Learning, 21(3), str. 68-86.
- [4] Shute, V. and Towle, B. *Adaptive e-learning*. In *Educational psychologist*. 2018. str. 105-114.
- [5] *The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems*. VanLehn, K. 2011, Educational psychologist, 46(4), str. 197-221.
- [6] *The Knowledge-Learning-Instruction framework: Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning*. Koedinger, K.R., Corbett, A.T. and Perfetti, C. 2012, Cognitive science, 36(5), str. 757-798.
- [7] JWT. [Na mreži] [Citirano: 19 5 2022.] <https://jwt.io/introduction>.
- [8] GitHub. [Na mreži] [Citirano: 19 5 2022.] <https://github.com/Clean-CaDET/platform-tutor-ui-web>.
- [9] GitHub. [Na mreži] [Citirano: 19 5 2022.] <https://github.com/Clean-CaDET/platform-plugin-vscode>.
- [10] *Improving Learning Environments: Avoiding Stupidity Perspective*. Pelanek, R. and Effenberger, T. 2022, IEEE Transactions on Learning Technologies.
- [11] IEEE Standards Association - IEEE standard classification for software anomalies. [Na mreži] [Citirano: 22 5 2022.]

Kratka biografija:



Luka Dorić je rođen 16. juna 1998. godine u Novom Sad, Republika Srbija. Godine 2017. upisao je Fakultet Tehničkih nauka u Novom Sadu smer Računarstvo i automatika. 2021. godine je diplomirao na osnovnim akademskim studijama i iste godine upisuje master akademske studije na smeru Računarstvo i automatika.

DETEKCIJA SARKAZMA U NASLOVIMA NOVINSKIH ČLANAKA UPOTREBOM NEURONSKIH MREŽA**NEWS HEADLINES SARCASM DETECTION USING NEURAL NETWORKS**

Aleksandar Vujinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA

Kratak sadržaj – Sarkazam je način komunikacije koji predstavlja suprotnost od pravog značenja sa ciljem da se na duhovit način nešto kritikuje. Vrlo je bitno da sarkazam u komunikaciji bude shvaćen na pravi način kako ne bi došlo do nerazumevanja. U pisanoj reprezentaciji je sarkazam teže uočljiv jer nedostaju svi neverbalni signali. U ovom radu prikazana je detekcija sarkazma u novinskim naslovima korišćenjem: (1) modela zasnovanih na neuronskim mrežama koji koriste vektorske reprezentacije teksta i (2) modela zasnovanih na transformer arhitekturi. Kao najbolji od modela zasnovanih na neuronskim mrežama pokazao se model sa LSTM (Long Short-Term Memory) i konvolutivnim slojevima, postigavši tačnost od 86%. Transformer modeli su nadmašili rezultate grupe modela zasnovanih na neuronskim mrežama i vektorskoj reprezentaciji teksta. Među njima, najbolje rezultate pokazao je model roBERTa sa tačnošću od 94%.

Ključne reči: detekcija sarkazma; novinski članci; duboko učenje; neuronske mreže.

Abstract – Sarcasm is the use of a remark that means the opposite of the real meaning, made to criticize something in a humorous way. It's essential to understand sarcasm to avoid misunderstanding. Detecting sarcasm in the written text is problematic since all non-verbal signals are missing. In this paper, I present sarcasm detection in news headlines using: (1) embedding-based neural networks and (2) transformer-based models. LSTM (Long Short-Term Memory) with convolutional layers achieved the best performance among embedding-based models, reaching 86% accuracy, whereas roBERTa reached 94% accuracy within transformer-based models. All the transformer models outperform embedding-based models.

Keywords: sarcasm detection; news articles; deep learning; neural networks.

1. UVOD

Detekcija sarkazma u tekstu je jedan od problema u NLP (Natural Language Processing) oblasti. Sarkazam predstavlja specifičan slučaj analize sentimenta, odnosno, klasifikacionog problema. Detekcija sarkazma se ne mora posmatrati kao zaseban alat, već kao dopuna postojećim algoritmima, kako bi se unapredile njihove performanse.

NAPOMENA:

Mentor ovog rada, koji je sažetak master rada, bila je prof. Jelena Slivka.

U ovom radu je predstavljeno više modela dubokog učenja za detekciju sarkazma u naslovima novinskih članaka. Na osnovu datog ulaznog teksta sistem vraća odgovor da li je tekst sarkastičan ili nije. U osnovi svih modela se nalaze neuronske mreže. Korišćene modele možemo podeliti u dve klase na osnovu arhitekture:

1. modeli zasnovani na neuronskim mrežama koje koriste vektorske reprezentacije reči (eng. *word embedding*) i
2. modeli zasnovani na transformer arhitekturi.

U okviru prve grupe modela, isprobane su potpuno povezane neuronske mreže i RNN (Recurrent Neural Network) mreže koje koriste LSTM (Long Short-Term Memory) ili GRU (Gated Recurrent Unit) slojeve. U okviru druge grupe modela, isprobani su transformer modeli koji su pokazali bolje performanse pri detekciji sarkazma: BERT [1], roBERTa [2], GPT-2 [3] i T5 [4] pretrenirani transformeri.

Svi modeli druge grupe nadmašuju performanse modela iz prve grupe. U prvoj grupi modela, najbolje performanse je postigao model sa LSTM i konvolutivnim slojevima od 86% tačnosti (eng. *accuracy*). U drugoj grupi modela, najbolje performanse je postigao roBERTa model od 94% tačnosti. To je veća tačnost za 8% u odnosu na najbolji model zasnovan na vektorskoj reprezentaciji reči.

2. SRODNA ISTRAŽIVANJA

Kako je fokus ovog rada na detekciji tekstualne reprezentacije sarkazma u naslovima novinskih članaka, u ovom poglavlju su predstavljeni najbitniji radovi sa istim istraživačkim fokusom.

Arhitektura predložena u radu [5] koristi arhitekturu koja kao ulaz prima naslove, a kao izlaz vraća binarnu vrednost (1 ukoliko je naslov sarkastičan, a 0 ukoliko nije). U model je dodat bidirekcion LSTM modul kako bi enkodirao levi (i desni) kontekst u rečenici. Ovaj LSTM modul je dopunjen *attention* modulom kako bi se re-evaluirale težine enkodiranog konteksta. Autori rada su trenirali model na balansiranom skupu podataka, gde je, nakon podešavanja hiper-parametara modela, dobijen rezultat od 89,7% tačnosti na test skupom. Ovaj rezultat predstavlja poboljšanje u odnosu na polazni model konvolutivne neuronske mreže korišćen u ovom istraživanju, gde se pomoću *embedding* sloja dobila tačnost 84,88% nad test skupom.

U radu [6] je prikazana detekcija sentimenta, emotikona i sarkazma korišćenjem neuronske mreže trenirane nad Twitter [7] postovima. Predložena arhitektura se sastoji od *embedding* sloja, dva bidirekciona LSTM sloja i *attention* sloja. U radu je ilustrovano da ovakva arhitektura jeste

pogodna za *twitter* postove različitih dužina, koji se sastoje od jedne ili više rečenica. Nad skupom podataka korišćenim u radu [6], postignuta je prosečna F1 mera od 69%. Pokazali su da LSTM i *attention* sloj proizvode boljim performansama u odnosu na polazne modele koji nisu koristili navedene slojeve.

Rad [8] prikazuje poređenje različitih modela nad više skupova podataka koji obuhvataju objave na *Twitter*-u, *Reddit*-u [9] i naslove novinskih članaka. Autori su poredili neuronske mreže različitih arhitektura. Utvrdili su da mreža koja sadrži LSTM sloj postiže bolje performanse u odnosu na mrežu koja koristi isključivo konvolutivne slojeve. Takođe su utvrdili da kombinacija LSTM i konvolutivnih slojeva daje još bolje rezultate. Kada su na LSTM sloj nadovezali i *attention* sloj, dobili su još bolje rezultate. Najbolje rezultate dobili su korišćenjem transformer modela. Prikazano je da modeli zasnovani na vektorskoj reprezentaciji reči ostvaruju lošije rezultate od transformer modela, konkretno, BERT modela. Pokazali su i da će transformer model sa više glava da postiže bolje rezultate, jer može više parametara da nauči. Nad istim skupom podataka, naslovima novinskih članaka, su postigli tačnost i F1 meru od 92%.

3. SKUP PODATAKA

Skup podataka korišćen u ovom radu [5] se sastoji se od sarkastičnih i nesarkastičnih naslova novinskih članaka.

U skupu podataka ne postoje polja koja nisu popunjena. Broj redova (novinskih članaka) koji se nalazi u skupu podataka iznosi 26.709, a broj jedinstvenih reči je 263.016. Broj sarkastičnih i nesarkastičnih članaka je približno izbalansiran: postoji 11.724 sarkastična i 14.985 nesarkastičnih članaka.

Da bi se naslovi novinskih članaka pretvorili u vektorsku reprezentaciju, neophodno je pretprocesirati podatke. Isprobane metode čišćenja podataka su:

- Prebacivanja čitavog teksta u mala slova.
- Izbacivanje brojeva iz teksta.
- Transformacija apostrof reči - Na primer, „isn't” je transformisano u „is not”, „couldn't” je transformisano u „could not”.
- Uklanjanje interpunkcije (interpunkcije).
- Uklanjanje *stop* reči.
- Primena steminga (eng. *stemming*).
- Primena lematizacije (eng. *lemmatization*).

Uklanjanje *stop* reči, uklanjanje brojeva, uklanjanje znakovna interpunkcije, steming i lematizacija se nisu pokazale kao uspešne metode. Svaka od ovih metoda je u nekoj meri doprinela da performanse modela opadnu. Nasuprot ovim metodama, metode kao što su svođenje reči na mala slova, uniformni apostrof, i transformacija apostrof reči su se pokazale kao metode koje su u kombinaciji doprinele da se poboljšaju performanse modela.

Drugi korak u pretprocesiranju je tokenizacija. Za BERT model postoji već pretrenirani *tokenizer* koji svaku reč pretvara u broj, koristeći pretrenirani BERT rečnik, i dodaju se specijalni karakteri koji se isto tokenizuju, (predstavljaju brojevima). Na taj način se za svaki naslov napravi vektorska reprezentacija, odnosno tenzor. Ovako pretprocesiran skup podataka je ulaz u BERT model.

roBERTa model koristi iste korake kao i BERT model sa jedinom razlikom da nije korišćen pretrenirani BERT *tokenizer* već pretrenirani roBERTa *tokenizer*. Analogno važi za T5 model i analogno važi za modele zasnovane na vektorskoj reprezentaciji reči. Za GPT-2 bilo je neophodno ručno dodati specijalne tokene PAD i CLS. Pošto se CLS nalazi na kraju sekvence, a naš zadatak je klasifikacioni problem, neophodno je promeniti stranu za peding i odsecanje, da bude sa leve strane, a ne sa desne.

4. METODOLOGIJA

Zadatak ovog rada je da se klasifikuju naslovi novinskih članaka u sarkastične i nesarkastične naslove. U tu svrhu korišćeni su modeli zasnovani na neuronskim mrežama. Tekstualna reprezentacija nije pogodna kao ulaz za neuronske mreže. Zbog toga smo svaki naslov pretvorili u vektorsku reprezentaciju. Isprobani su modeli zasnovani na neuronskim mrežama koji koriste vektorske reprezentacije reči i modeli zasnovani na transformer arhitekturi.

4.1. Modeli zasnovani na vektorskoj reprezentaciji reči

Kao osnova za poređenje sa svim drugim modelima, napravljena je jednostavna potpuno povezana neuronska mreža. Izlazni sloj sadrži jedan neuron sa sigmoid aktivacionom funkcijom, jer imamo dve moguće klase: sarkastično ili nesarkastično. Svi slojevi u ovoj mreži su se obučavali. Osnovni model se sastoji od sledećih slojeva:

- *Embedding* sloj ulazne dimenzije 10000 i izlazne dimenzije 16,
- *Pooling* sloj, odnosno, *GlobalAveragePooling*,
- *Dense* sloj, jedan skriveni potpuno povezani sloj sa 24 neurona.

Zatim smo osnovni model proširili dodatnim slojevima, i naštimovali hiper-parametre modela: dimenzija ulaza, odgovara broju reči u rečniku, i dimenzija izlaza u *Embedding* sloju, korak u optimizacionoj funkciji (eng. *learning rate*) i broj neurona u svakom sloju.

Takođe je rekonstruisan model po ugledu na rad [5]. Bitna razlika u ovom modelu u odnosu na prethodna dva je što ovaj model jeste RNN model koji koristi i konvolutivne slojeve. Iskoristili smo konvolutivne slojeve i bidirekcionu LSTM sloj koji je pogodan za rad sa sekvencijalnim podacima, pa i sa tekstom koji je sekvenca reči.

Zatim su isprobana tri različita RNN modela. Sva tri modela implementirana su koristeći *Keras* [10] biblioteku. Hiper-parametri modela su optimizovani koristeći *Keras Tuner* [11] biblioteku.

Prvi RNN bazirani model koristi *embedding* sloj koji nije pretreniran, a težine u *embedding* sloju će se odrediti u procesu obučavanja modela. Zatim sledi *pooling* sloj, pa tri bidirekciona LSTM sloja, gde se pre svakog LSTM sloja nalazi *dropout* sloj. Na ove slojeve nadovezuje se izlazni klasifikacioni sloj.

Drugi RNN model se od prvog razlikuje što umesto tri LSTM sloja koristi tri GRU (*Gated Recurrent Unit*) sloja.

Treći model se dosta razlikuje od prva dva modela. Umesto nepretreniranog *embedding* sloja, učitani su pretrenirani *embedding* sloj izlazne dimenzije 200, treniran nad *Twitter* skupom podataka. Za ostale slojeve isprobane su različite kombinacije i na kraju je najbolje rezultate dala mreža koja

se sastoji od kombinacije konvolutivnih, potpuno povezanih, *pooling*, *dropout* i više bidirekcionih GRU slojeva. Prvo je isprobano da se *embedding* sloj zamrzne, odnosno da se težine ne menjaju u procesu obučavanja.

Na taj način vektorska reprezentacija reči ostaje onakva kakva je prethodno naučena. Ovakva mreža davala je dosta lošije rezultate u odnosu na mnogo jednostavnije modele, pa je zbog toga odlučeno da se *embedding* sloj ipak dotrenira u procesu obučavanja.

4.2. Modeli zasnovani na transformer arhitekturi

U radu su isprobani: (1) enkoderski modeli: BERT [1], roBERTa [2], (2) dekodski modeli: GPT-2 [3] i (3) model koji ima enkoder-dekoder arhitekturu T5 [4].

4.2.1. BERT

BERT model jezika je zasnovan na transformer arhitekturi [12]. Za naše potrebe smo koristili pretrenirani *bert-base-uncased* model iz *Huggingface* [13] biblioteke. Na poslednji skriveni sloj je dodat izlazni klasifikacioni sloj sa 2 neurona, kako bi se mogla izvršiti klasifikacija na sarkastične i nesarkastične naslove novinskih članaka. Model kao ulaz prima naslove novinskih članaka u vektorskoj reprezentaciji. Prvo sam primenio preprocesiranje, a zatim trenirao BERT modela. Hiper-parametre modela sam naštimovao po ugledu na rad [12].

4.2.2. roBERTa

roBERTa model se zasniva na BERT modelu. Koristio sam pretrenirani model iz *Huggingface* biblioteke. Da bi se naslovi pretvorili u vektorsku reprezentaciju, neophodno je preprocesirati podatke. Nakon završenog preprocesiranja, sledi trening roBERTa modela. Hiper-parametri modela su naštimovani po ugledu na rad [14].

4.2.3. T5

T5 model se za razliku od BERT i roBERTa modela sastoji od enkoderskog i dekoderskog dela. Pošto naš zadatak spada u klasifikacioni problem, dekoderski deo je višak. Korišćen je pretrenirani enkoderski deo modela na koji je nadovezan jedan izlazni klasifikacioni sloj sa 2 neurona.

4.2.4. GPT-2

GPT-2 transformer model se za razliku od BERT, roBERTa i T5 modela sastoji samo od dekoderskog dela. Model je treniran za zadatak predikcije sledeće reči, preciznije sledećeg tokena u sekvenci.

Zbog prirode zadatka za koji je model treniran, model može da pristupi samo rečima sa leve strane u odnosu na trenutnu reč, za razliku od bidirekcionih modela koji mogu da pristupaju rečima sa obe strane. Kontekst odnosno podaci o celoj sekvenci se nalaze u CLS tokenu, a CLS token jeste poslednji token u sekvenci, za razliku od enkoderskih modela.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Skup podataka je podeljen na trening, validacioni i test skup u odnosu 60/20/20. Kao mera evaluacije korišćeni su tačnost i F1 mera. Prikaz rezultata biće podeljen u dve grupe: modeli zasnovani na neuronskim mrežama koji koriste vektorske reprezentacije reči i modeli zasnovani na transformer arhitekturi.

Ni jedan model iz prve grupe nije nadmašio transformer model, pa će dve grupe modela biti posmatrane odvojeno.

5.1. Modeli zasnovani na vektorskoj reprezentaciji reči

U tabeli 5.1.1 prikazani su F1 mera za obe klase i tačnost. Tačnost se kreće u rasponu od 82% do 86%, u zavisnosti od modela. Zanimljivo je da se naš osnovni model najkraće trenirao, a postigao je istu tačnost kao i najbolji model. Zaključujemo da produblјivanjem mreže i dodavanjem potpuno povezanih slojeva nismo podigli performanse već samo produžili vreme treniranja.

Najbolji model iz ove grupe je model sa konvolutivnim i LSTM slojevima. Ovaj model postigao je F1 meru od 85% za sarkastične naslove, F1 meru od 87% za nesarkastične naslove i tačnost od 86%. Najbolji model je dostigao tačnost od 86%, što su iste performanse kao u [15].

Tabela 5.1.1. Metrika nad test skupom modela zasnovanih na vektorskoj reprezentaciji reči

Modeli	F1 Sarkastični naslovi	F1 Nesarkastični naslovi	Tačnost
Osnovni	0,84	0,87	0,86
Potpuno povezani slojevi	0,83	0,87	0,85
Konvolutivni i LSTM	0,85	0,87	0,86
LSTM i nepretrenirani embedding sloj	0,81	0,87	0,86
GRU i nepretrenirani embedding sloj	0,80	0,86	0,85
GRU, konvolutivni, potpuno povezani, pooling, dropout slojevi	0,71	0,79	0,82

5.2. Modeli zasnovani na transformer arhitekturi

U tabeli 5.2.1 su prikazani rezultati za transformer modele. Prikazani su F1 mera za obe klase i tačnost. Tačnost se kreće u rasponu od 90% do 94% u zavisnosti od modela.

Tabela 5.2.1. Metrika nad test skupom modela zasnovanih na transformer arhitekturi

Modeli	F1 Sarkastični naslovi	F1 Nesarkastični naslovi	Tačnost
BERT	0,91	0,93	0,92
BERT sa dodatnim klasifikacionim slojevima	0,91	0,93	0,92
roBERTa	0,92	0,94	0,93
roBERTa sa uvećanim <i>batch</i> -om i brojem warmup koraka	0,93	0,95	0,94
T5	0,88	0,91	0,90
GPT-2	0,89	0,91	0,90

BERT model je pokazatelj da transformer modeli postižu bolje rezultate od modela zasnovanih na vektorskoj reprezentaciji reči. Možemo primetiti da dodavanje klasifikacionih slojeva u dekoderskom delu, nije pomoglo pri klasifikaciji. Ovo je bilo očekivano jer se većina parametara modela nalazi u enkoderskom delu, pa dodavanje nekoliko slojeva u dekoderskom delu neće dovesti do primetnog poboljšanja performansi. Ovde, performanse nisu opale, ali je produženo vreme treniranja.

Najbolji model je bio roBERTa model sa uvećanim *batch*-om i uvećanim brojem *warmup* koraka u optimizacionoj funkciji. roBERTa model se najduže trenirao, ima najviše parametara i postigao je najbolju tačnost od 94%, najbolju F1 meru za sarkastične naslove od 93% i najbolju F1 meru za nesarkastične naslove od 95%. Poređenja radi, transformer model u radu [6] treniran i evaluiran nad više skupova podataka, uključujući i skup podataka koji smo mi koristili, postigao je F1 meru od 92% i tačnost od 92%.

T5 je koristio samo enkoderski deo i imao je znatno manje parametara u odnosu na BERT i roBERTa modele. Zbog toga je postigao lošije rezultate i tačnost od 90%.

GPT-2 je postigao rezultat vrlo sličan T5 modelu. S obzirom da je unidirekcion model, a ne bidirekcion model, rezultati su lošiji u odnosu na BERT i roBERTa modele.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je rešavan problem detekcije sarkazma u naslovima novinskih članaka. Problem je rešavan pomoću modela zasnovanih na neuronskim mrežama koje koriste vektorske reprezentacije reči i modela zasnovanih na transformer arhitekturi. Isprobane su potpuno povezane neuronske mreže, mreže sa LSTM slojevima, sa GRU slojevima, u kombinaciji sa konvolutivnim slojem, ne pretreniranim i pretreniranim *Embedding* slojem. Njihova tačnost se kreće u rasponu od 82% do 86%. Ni jedan model iz prve grupe nije nadmašio transformer modele. Od modela zasnovanih na transformer arhitekturi isprobani su BERT, roBERTa, T5, GPT-2. Tačnost za transformer modele se kreće u rasponu od 90% do 94%. Najbolji rezultat je postigao pretrenirani roBERTa model sa tačnošću od 94%.

7. LITERATURA

- [1] Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K. and Toutanova, K., 2018. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805.
- [2] Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., Levy, O., Lewis, M., Zettlemoyer, L. and Stoyanov, V., 2019. Roberta: A robustly optimized bert pretraining approach. arXiv preprint arXiv:1907.11692.

- [3] Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D. and Sutskever, I., 2019. Language models are unsupervised multitask learners. OpenAI blog, 1(8), p.9.
- [4] Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., Zhou, Y., Li, W. and Liu, P.J., 2019. Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. arXiv preprint arXiv:1910.10683.
- [5] Misra, R. and Arora, P., 2019. Sarcasm detection using hybrid neural network. arXiv preprint arXiv:1908.07414.
- [6] Felbo, B., Mislove, A., Søgaard, A., Rahwan, I. and Lehmann, S., 2017. Using millions of emoji occurrences to learn any-domain representations for detecting sentiment, emotion and sarcasm. arXiv preprint arXiv:1708.00524.
- [7] <https://twitter.com>
- [8] Akula, R. and Garibay, I., 2021. Interpretable Multi-Head Self-Attention Architecture for Sarcasm Detection in Social Media. Entropy, 23(4), p.394.
- [9] <https://reddit.com>
- [10] <https://keras.io/>
- [11] https://keras.io/keras_tuner/
- [12] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, Ł. and Polosukhin, I., 2017. Attention is all you need. Advances in neural information processing systems, 30.
- [13] <https://huggingface.co/>
- [14] Sun, C., Qiu, X., Xu, Y. and Huang, X., 2019, October. How to fine-tune bert for text classification?. In China national conference on Chinese computational linguistics (pp. 194-206). Springer, Cham.
- [15] Mandal, P.K. and Mahto, R., 2019. Deep CNN-LSTM with word embeddings for news headline sarcasm detection. In 16th International Conference on Information Technology-New Generations (ITNG 2019) (pp. 495-498). Springer, Cham.

Kratka biografija:



Aleksandar Vujinović rođen je 1998. godine u Novom Sadu. Osnovne akademske studije završio je 2021. godine na Fakultetu tehničkih nauka, na kom brani master rad 2022. godine iz oblasti Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije.

**PROJEKAT AB UKRUĆENE SKELETNE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE ZGRADE
PREMA EVROKODU I UPOREDNA ANALIZA OKVIRA PREMA EC8 I BAB87****PROJECT OF RC BRACED STRUCTURE OF MULTI-STOREY RESIDENTIAL
BUILDING ACCORDING TO EUROCODE AND COMPARATIVE ANALYSIS OF
FRAMES ACORDING TO EC8 AND BAB 87**

Vladimir Kučerović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SEIZMIČKA ANALIZA KONSTRUKCIJA

Kratak sadržaj – Ovim radom predstavljena je analiza opterećenja i statičko-dinamički proračun armirano betonske konstrukcije sa dimenzionisanjem elemenata prema Evrokodu. Izvršeno je i upoređivanje načina armiranja okvira prema BAB87 i Evrokodu.

Ključne reči: Zbornik FTN, Master rad, Armirani beton

Abstract – This work represents load analysis and static-dynamic calculation of reinforced concrete construction with sizing of the elements. Comparing of reinforcement layouts of frames between BAB87 and Eurocode standards was also made.

Keywords: Proceedings of the FTS, Master work, Reinforced concrete

1. UVOD

Nov standard Evrokod, nadovezuje se na prethodni domaći standard BAB87. Već sam taj prethodni standard je bio napredan, koristeći granična stanja nosivosti i tretiranje seizmičkog opterećenja kao jednog najvažnijeg za betonske konstrukcije.

Betonske konstrukcije se odlikuju velikom masom, zbog svojih punih preseka. Ta masa generiše, seizmičke sile tj. seizmičko opterećenje, koje se ispostavlja kao dominantno. Zato je seizmičkom opterećenju i data pažnja u ovom radu. Ona se odnosi na opis pojave seizmičkog dejstva i na princip projektovanja sa smanjenim seizmičkim dejstvom. To se dešava na račun programiranog ponašanja okvira sa ukrućenjem u vidu seizmičkih zidova.

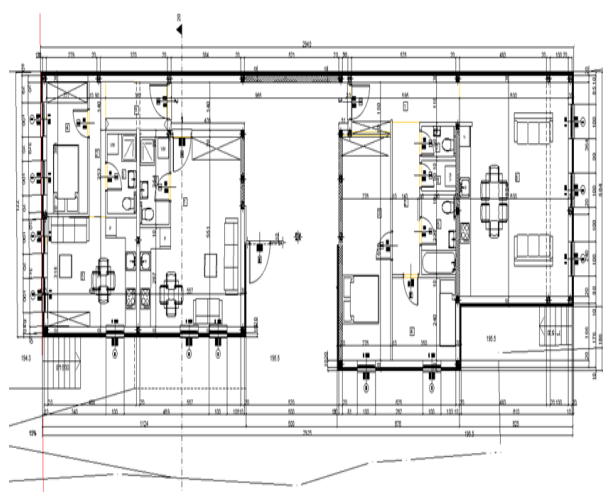
Uobičajena praksa danas je, predstavljanje buduće konstrukcije linijskim i površinskim elementima, napadnuti odgovarajućim opterećenjima, u nekom softverskom rešenju. U radu je korišćen softver domaćeg proizvođača Radimpex Tower 8. Programirano ponašanje se izvršava dimenzionisanjem u nekoliko koraka, naizmeničnim proračunom i usvajanjem armature.

2. PODACI O OBJEKTU

Posmatrani objekat je višespratna stambena zgrada čiji su okviri pridržani sa po dva zida u oba pravca okvira. Spratnost je Po+P+4, visine 14,7m a lokacija je Kragujevac.

2.1. Arhitektonsko rešenje

Dispoziciono rešenje čine ortogonalni okviri različitog rastera stubova 2,79m do 5,75m. Spratne visine su 2,90m izuzev podruma gde je 2,38m. Dimenzije objekta u prizemlju su 29,4mx9,15m.



Slika 1. Arhitektonsko rešenje

2.2. Noseći elementi

Armirano-betonska konstrukcija je skeletnog tipa sa zidovima za ukrućenje. Skelet je ramovski, 5 okvira u „x“ pravcu i 7 okvira u „y“ pravcu. Okviri sadrže grede i stubove, sledećih dimenzija:

Stubovi:

- b/h=40/40cm od podruma do vrha

Grede:

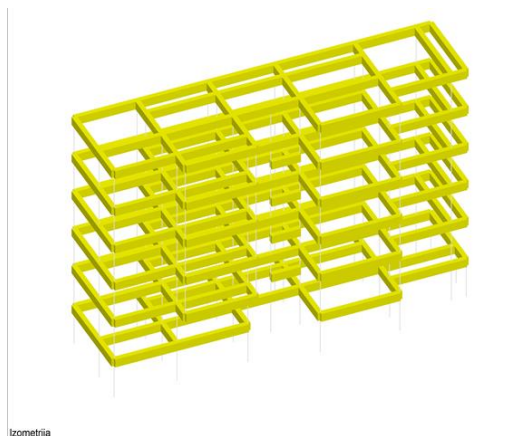
- b/h=40/60cm sve etaže

Međuspratne konstrukcije su debljine 20cm, a temljna ploča 50cm. Zidovi su debljine 20cm.

Cela konstrukcija je rađena u klasi betona C30/37.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Đorđe Ladinović.



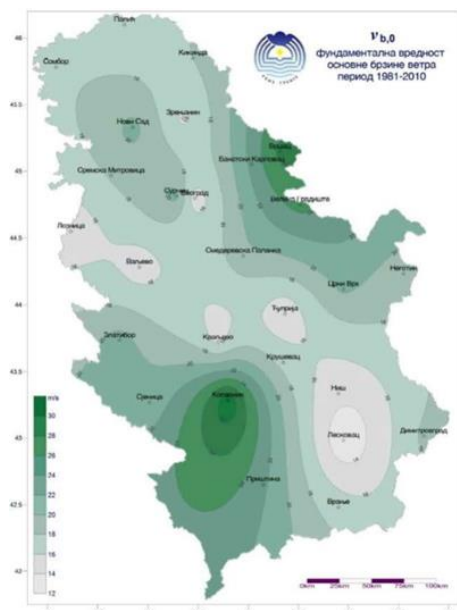
Slika 2. Primer modeliranih greda

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Analiza opterećenja izvedena je primenom Evrokoda 0 i 1 a seizmičko dejstvo Evrokodom 8. Evrokodom su definisana stalna, promenljiva incidentna i seizmička opterećenja. U stalna opterećenja ubrojana je sopstvena težina generisana programski, i težina obloga, pregradnih i punih zidova. Promenljiva su definisana namenom površina ili dejstvima, poput snega i vetra. Tako je korisno opterećenje u stanovima 2,0kN/m², sneg 1,2kN/m² a vetar osnovne brzine 16m/s.

Kat.	Namena	Primer/pod-kategorija	Φ	Q ₀
A	Stambene površine	Sobe u stambenim zgradama i kućama, spavaće sobe i odeljenja u bolnicama, spavaće sobe u hotelima i prenoćnicima, kuhinje i toaleti.	Podovi 1.5-2.0	2.0-3.0
			Stepeništa 2.0-4.0	2.0-4.0
B	Kancelarijske površine	Kancelarije.	Balkoni 2.5-4.0	2.0-3.0
				2.0-3.0
C	Površine na kojima je moguće okupljanje ljudi	C1: Površine sa stolovima (u školama, čitaonicama, trpezarijama...)	2.0-3.0	1.5-4.5
		C2: Površine s nepokretnim stepeništima (u crkvama, pozorištima, bioskopima, učionicama, čekaonicama...)	2.0-3.0	3.0-4.0
		C3: Površine bez prepreka za kretanje (u muzejima, izložbenim prostorima, površine u javnim i administrativnim zgradama, hotelima, bolnicama...)	3.0-4.0	2.5-7.0 (4.0)
		C4: Površine sa mogućim fizičkim aktivnostima (plesne dvorane, gimnastičke sale, pozornice...)	3.0-5.0	4.0-7.0
		C5: Površine osetljive na veliko okupljanje (zgrade za javne događaje, koncerte, sportske dvorane uključujući tribine, terase, železničke platforme)	4.0-5.0	3.5-7.0
D	Prodajne površine	D1: Površine u maloprodajnim radnjama	5.0-7.5	3.5-4.5
		D2: Površine u robnim kućama	4.0-5.0	3.5-7.0
F	Saobraćajne i parking površine za laka vozila (ne više od 30kN bruto težine vozila i ne više od 8 sedišta, ne uključujući vozača)	Garaže, parking površine, parking hale	4.0-5.0	1.5-2.5
G	Saobraćajne i parking površine za srednja vozila (više od 30kN, ali manje od 160kN, na dve osovine)	Prilazi, dostavne zone, pristupne zone za vatrogasna vozila	5.0	10-20
				40-90

Slika 3. Preporučene vrednosti korisnih opterećenja [1]

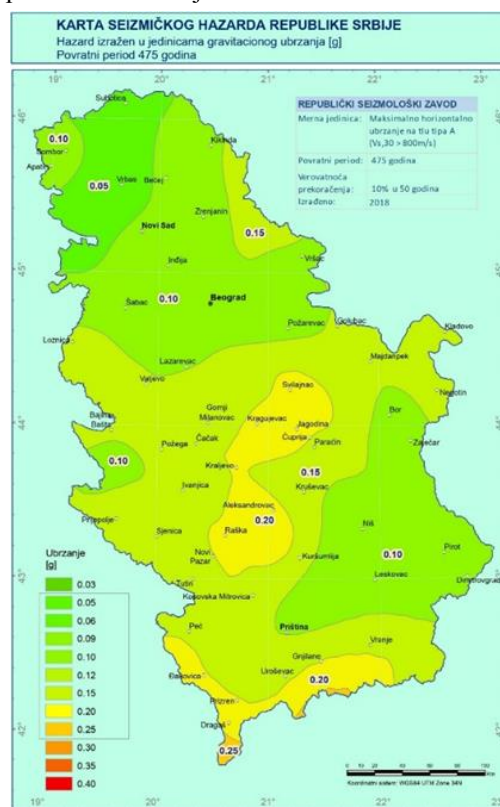


Slika 4. Osnovna brzina vetra [2]

3.1 Seizmičko opterećenje

Seizmičko dejstvo je posledica inertnosti mase(stalno i korisno opterećenje), koja je preko krutosti konstrukcije vezana za podlogu koja se pomera. Tako dobijamo sile koje napadaju konstrukciju, indukovane masom, koja je pripadajuća za svaki čvor posmatrajući MKE model i ubrzanjem tla, koje je dato kartom povratnog perioda za sve zemlje gde važe Evrokodovi a predstavlja referentno ubrzanje koje odgovara zahtevima da se konstrukcija ne sruši (NCR no-collapse requirement): povratnom periodu dejstva od 475 godina, odnosno referentnom periodu od 50 godina u kojem je verovatnoća prekoračenja agR vrednosti 10%. Umnožak ubrzanja zavisi i od tipa tla na kome konstrukcija leži, važnosti konstrukcije kao i sopstvenog perioda oscilovanja. Pripadajuće mase su u funkciji odnosa prema ukupnoj masi i udela pomeranja u datom tonu oscilovanja.

Dalje postavljanje seizmičkih sila se redukuje projektnim spektrom. Time želimo da ekvivalentnost pomeranja nelinearnog odgovora i elastičnog, dovedemo u istu ravan, time što ćemo snižavanje vrednosti sila poveriti duktilnosti čvorova, tj. da njih „isprogramiramo“ da sukcesivnim plastifikovanjem odvedemo konstrukciju u duže periode oscilovanja.

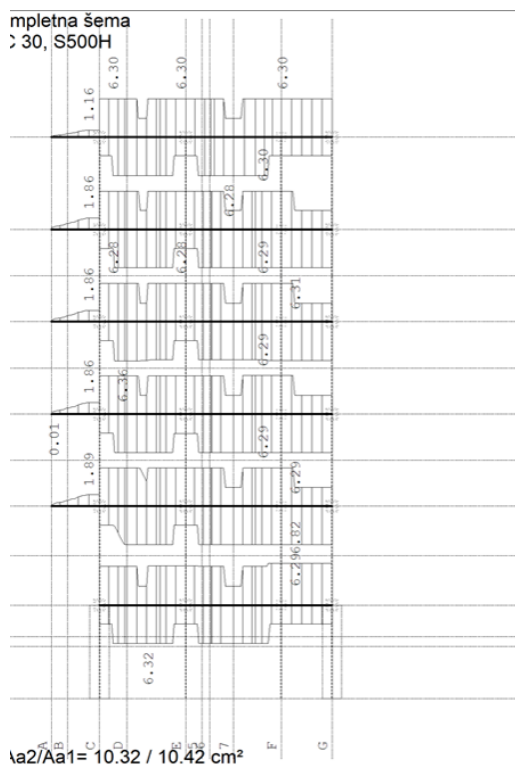


Slika 5. Karta seizmičkog hazarda za povratni period 475g [2]

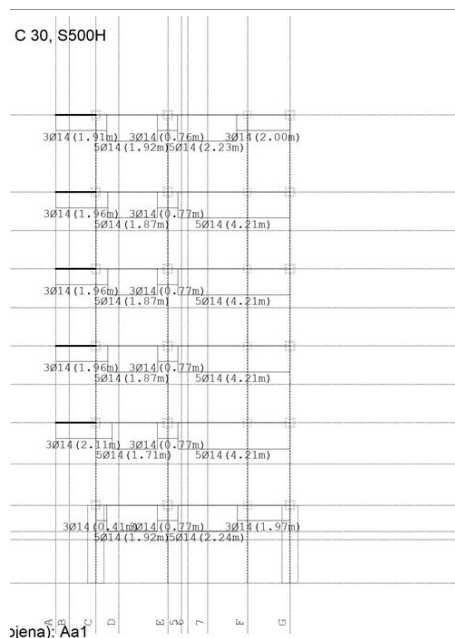
4. DIMENZIONISANJE ELEMENATA

Sa dobijenim presečnim silama, softver dimenzioniše preseke prema standardu. U svemu se primenjuje Evrokod 2 a Evrokod 8 se provlači kroz softver, procedurom sukcesivnog proračuna i usvajanja armature. Ona podrazumeva da se usvaja minimalna zategnuta armatura duplo većom nego po Evrokodu 2. U kritičnim zonama mora postojati određena razika između pritiskuete i zategute armature. Sa usvojenom podužnom armaturom

sledi proračun potrebne podužne armature stubova. Uzrok ovom postupku jeste uzročnost podužne armature stubova od nosivosti krajeva greda. Za okvirne i dvojno dominantne ukružene okvire važi pravilo da suma momenata nosivosti na krajevima stubova mora biti uvećana koeficijentom 1,3.



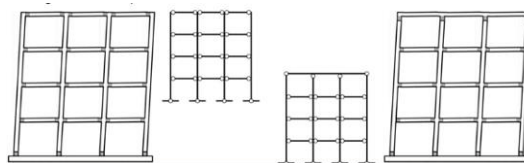
Slika 6 Primer potrebe za podužnom armaturom, obe zone



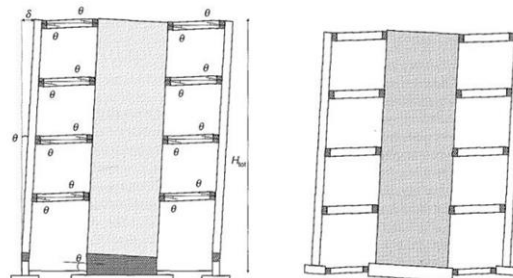
Slika 7. Primer usvojene podužne armature, donja zona

Zatim se proračunava potreba za poprečnom armaturom greda i stubova, na osnovu projektnih sila iz momenata nosivosti greda i stubova, jer se smičući lom smatra krtnim te se od njega obezbeđujemo dimenzionisanjem na maksimalne pojavne sile. Posebna pažnja se pridaje proveru lokalnih duktilnosti donjeg dela stuba i zida iznad uklještenja. Rotacije čvorova koje se prihvataju

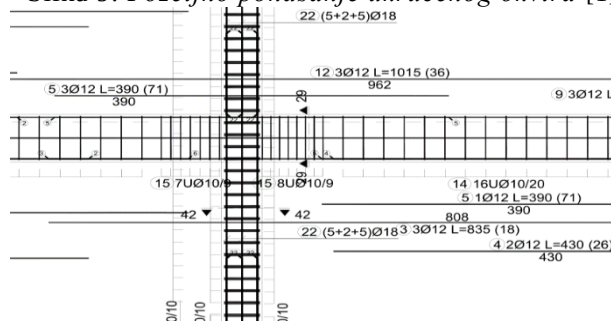
duktilnošću, moraju se zbog jednakosti preneti na donje delove stubova i zidova.



Slika 8. Poželjno ponašanje okvirne konstrukcije [1]



Slika 9. Poželjno ponašanje ukruženog okvira [1]



Slika 10. Primer armiranja stubova i greda

5. ZAKLJUČAK

Postupkom programiranog ponašanja nudi se sigurnost konstrukcije da se ne sruši za krajnje dejstvo zemljotresa a po kriterijumu oštećenja konstrukcija ostaje u elastičnoj oblasti za „uobičajene“ vrednosti zemljotresa. Pridavanjem važnosti detaljima armiranja, koje su sa globalnog nivoa prenete na lokalne, misleći se na čvorove, posebnim formulama koje zavise od perioda oscilovanja i tipa konstrukcije, sažimaju se iskustva prethodnih standarda i važećih u Evrokodove, mada su u toku pisanja rada, već najavljene nove iteracije Evrokodova. Takođe se nudi mogućnost, poznavanjem Evrokoda, za šire tržište od domaćeg na koje se može konkurisati kroz projektovanje i izvođenje.

6. LITERATURA

- [1] Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije
- [2] Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija
- [3] Evrokod 8: Proračun seizmički otpornih konstrukcija
- [4] Zoran Brujić: Betonske konstrukcije prema Evrokodu

Kratka biografija:



Vladimir Kučerović rođen je u Kragujevcu 1994. god. Osnovne akademske studije završio je 2018. god na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Konstrukcije odbranio je 2022.god.

kontakt: kucerovic034@gmail.com

PROJEKAT ARMIRANO BETONSKE KONSTRUKCIJE VIŠESPRATNE STAMBENO-POSLOVNE ZGRADE U BANJOJ LUCI**DESIGN OF REINFORCED CONCRETE MULTI STOREY RESSIDENTAL AND COMERCIAL BUILDING IN BANJA LUKA**

Nada Pekeljjević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je prikazan projekat višespratne armirano betonske zgrade, na području Banja Luke, prema Evrokod standardima. U drugom dijelu rada prikazana je uporedna analiza domaćih i evropskih standarda za stubove.

Ključne reči: Višespratna armirano betonska zgrada, uporedna naliza, Evrokod.

Abstract – In this paper the project of multy-storey reinforced concrete building in the area of Banja Luka, according to Eurocode standards is presented. In the second part comparative analysis of national and European standards for columns and walls is presented.

Keywords: Multy-storey reinforced concrete building, comparative analysis, Eurocode.

1. UVOD

Projektnim zadatkom je predviđena izgradnja armirano betonske zgrade spratnosti u Banjoj Luci prema zadatom arhitektonskom rješenju. Fundiranje je izvršeno na temeljnoj ploči ojačanoj gredama. Noseća konstrukcija objekta projektovana je kao armirano betonska konstrukcija, sa AB međuspratnim tavanicama, AB stepenicama za vertikalnu komunikaciju i zidovima za ukrućenje. Podaci o dejstvima uzeti su u skladu sa lokacijom i geografskim položajem datog objekta. Projektom su obuhvaćeni analiza opterećenja, proračun mjerodavnih uticaja, dimenzionisanje, neophodni konstrukcijski detalji kao i planovi armiranja. U istraživačkom radu sprovedena je uporedna analiza domaćih i evropskih standarda za stubove i zidove.

2. OPIS PROJEKTA

Objekat je petougaone osnove. U podrumu i prizemlju nalaze se garaže, u prizemlju se nalaze poslovni prostori, dok je ostali dio objekta predviđen za individualno stanovanje. Dvije različite tipske etaže predviđene su kao stambeni dio objekta. Za vertikalnu komunikaciju predviđeno je stepenište, koje se proteže od podruma pa do poslednje etaže. Kao krovno rješenje predviđen je ravan-neprohodan krov. Slika 1. prikazuje 3D izgled objekta, u render obliku, uvezen iz programa Tower 8.0 u kojem je konstrukcija proračunata i dimenzionisana.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Ladinović, red. prof.

2.1. Konstruktivni sistem

Projektnim zadatkom predviđen je konstruktivni sistem kao armirano betonska zgrada, što znači da su noseći elementi ramovi (grede i stubovi) i međuspratne krstasto-armirane tavanice. Konstrukcija je dodatno ukrućena seizmičkim platnima, koja se nalaze u dva međusobno upravna pravca, debljine su 25cm, a širine saglasno arhitektonskom rješenju. Temelj je urađen kao temeljna ploča debljine 35cm, ojačan temeljnim gredama dimenzija poprečnog presjeka 50/100cm. Stubovi su različitih poprečnih presjeka, saglasno arhitektonskom rješenju. Dimenzije poprečnog presjeka greda su visine 55 cm a debljina prati debljinu stubova zbog lakšeg izvođenja, a debljina međuspratnih tavanica je 15cm. Armirano betonski dijelovi konstrukcije su izvedeni u klasi betona C30/37, a korišten je čelik za armiranje B500B.

2.2. Analiza opterećenja

Sopstvena težina konstruktivnih elemenata (grede, stubovi, zidovi, ploče) automatski je generisana prema zadatim geometrijskim i materijalnim karakteristikama. Sopstvena težina nekonstruktivnih elemenata koji imaju karakter stalnog opterećenja (podne obloge i podloge, krov, pregradni zidovi, instalacije, opterećenje od tla) imaju karakteristične vrijednosti usvojene u skladu sa EN 1991-1-1:2002 [2]. Korisna opterećenja, u zavisnosti od namjene objekta i njegovih dijelova, usvojena su prema EN 1991-1-1:2002 [2]. U ovom slučaju razmatrane su sledeće grupe prostorijske: stambeni prostori, balkoni, stepeništa, hodnici, ostave, krovni prostor. Opterećenje snijegom je razmatrano za datu lokaciju (Banja Luka), čija je nadmorska visina oko 163mm. Opterećenje je usvojeno u skladu sa EN 1991-1-3:2003 [3], u iznosu od 1,0 kN/m². Seizmičko opterećenje je generisano primjenom softvera Tower 8.0. a u skladu sa EN 1998-1-2004 [5]. Za izračunavanje seizmičkih sila primjenjena je multimodalna spektralna analiza. Ova vrsta analize se primjenjuje za sve vrste konstrukcija u zgradarstvu kod kojih postoji uticaj viših oblika oscilacija na odziv konstrukcije. Modalna analiza se ubraja u dinamičke metode, a proračun sistema se zasniva na:

- Određivanju dinamičkih karakteristika sistema,
- Određivanju seizmičkih sila,
- Određivanju uticaja u konstrukciji usljed seizmičkih sila.

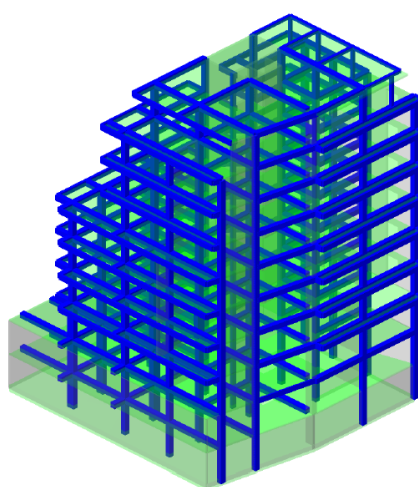
Dinamičke karakteristike konstrukcije (svojsvene vrijednosti i oblici oscilovanja), određuju se modalnom analizom. Modalnom analizom se sistem simultanih diferencijalnih jednačina, koje opisuju dinamičko ponašanje sistema sa više stepeni slobode, transformiše u sistem

međusobno nezavisnih diferencijalnih jednačina. Svaka od dobijene jednačine se rješava posebno, a superponiranjem tih rješenja dolazi se do dinamičkog odgovora konstrukcije. Primjena metode je zbog potrebe za superponiranjem ograničena na linearne sisteme.

2.3. Statički i dinamički proračun

Statički i dinamički proračun je izvršen primjenom softverskog paketa Tower 8.0, primjenom teorije prvog reda. Tlo je modelirano pomoću elastičnih međusobno nezavisnih opruga, koje omogućavaju rad konstrukcije koja odgovara približno realnim uslovima. Prilikom modalne analize usvojene su pretpostavke da je međuspratna tavanica kruta u svojoj ravni i da su mase koncentrisane u nivoima tavanica. Kao rezultat dinamičke analize modela dobijeni su periodi oscilovanja, koji su dalje u proračunu korišteni za dobijanje uticaja od seizmičkih kombinacija opterećenja. Za definisanje

koeficijenta učešća masa za modalnu analizu, korištene su odredbe EN 1991:2002. Za određivanje uticaja u nosećoj konstrukciji od dejstva seizmičkih sila, primjenjena je multimodalna spektralna analiza u saglasnosti sa odredbama EN 1998-1:2004, a proračun je sproveden primjenom softverskog paketa Tower 8.0. Prema seizmiološkoj karti za predmetnu lokaciju objekta, usvojeno je projektno ubrzanje tla u iznosu $a_g=0,20g$, a projektni elastični spektar je konstruisan za kategoriju tla tipa C i II kategoriju objekta. Za potrebe dimenzionisanja definisana su dva pravca djelovanja seizmičkih sila, u X i Y pravcu. Za seizmički proračun bitna su prva tri tona oscilovanja. U prva dva tona javlja se dominantna translacija konstrukcije oko X i Y ose, dok se u tećem tonu javlja torziranje zgrade oko osnove (što proračunski nije dozvoljeno).



Slika 1. Render prikaz objekta

2.4. Proračunske kontrole

Sprovedene su proračunske kontrole u cilju potvrde kvaliteta odabranog koncepta konstrukcije. Prema pravilniku EN 1998-1:2004 [5], neophodno je kontrolisati normalizovane aksijalne sile u primarnim seizmičkim elementima, odnosno stubovima, zidnim platnima i gredama. Normalizovana aksijalna sila se dobija iz seizmičke proračunske kombinacije prema graničnom stanju nosivosti, što znači da se koriste koeficijenti sigurnosti za opterećenja i materijale. Maksimalne vrijednosti normalnih sila se javljaju u nivou prizemlja, pa su i njihove vrijednosti date u tom presjeku za anvelopu graničnih seizmičkih kombinacija. Aksijalna sila za zidove je dobijena sabiranjem aksijalne sile u stubovima i aksijalne sile u zidnom platnu za anvelopu graničnih seizmičkih kombinacija. Kontrolom napona u tlu se došlo do podatka da je usvojeno adekvatno temeljenje objekta. Kontrola je urađena za anvelopu uticaja eksploatacionih neseizmičkih kombinacija opterećenja i eksploatacionih seizmičkih kombinacija opterećenja. Došlo se do zaključka da su naponi u tlu ispod dopuštenih, a da su diferencijalna slijeganja minimalna.

2.5. Dimenzionisanje elemenata

Primjenom softverskog paketa izvršeno je dimenzionisanje prema kompletnoj šemi opterećenja, a mjerodavne kombinacije opterećenja su automatski

odabrane. Dimenzionisanje i armiranje elemenata je izvedeno prema EN 1992-1-1:2004 [4]. Zaštitni slojevi su definisani prema klasama izloženosti. Dimenzionisani su svi AB elementi: ploče, stubovi, grede i seizmička platna. Poštujući sve odredbe i preporuke Evrokoda, izrađeni su planovi armature za temeljnu ploču, ploču tipskog sprata, i dva karakteristična rama. Temeljna ploča je dimenzionisana kao "debela" ploča, uticaji transversalnih sila na proračun ne mogu biti zanemareni. Ploče tipskih spratova su dimenzionisane kao "tanke" ploče, gdje je uticaj transversalnih sila na proračun zanemaren.

3. UPOREDNA ANALIZA

3.1 Upporedna analiza stubova

U okviru istraživačkog dijela master rada, zadatak je da se izvrši uporedna analiza domaćih i evropskih standarda za stubove. Poređenje je sprovedeno teoretski. Upporednom analizom trebalo je da se dođe do zaključka koje su to razlike između domaćih (PBAB) i evropskih (Evrokod) propisa.

Prema Pravilniku za beton i armirani beton, stubom podrazumijevamo linijski element koji je pretežno izložen naponu pritiska usljed djelovanja dominantnih aksijalnih sila od spoljnih dejstava. Stub se u betonskim konstrukcijama pojavljuje kao samostalan ili kao dio

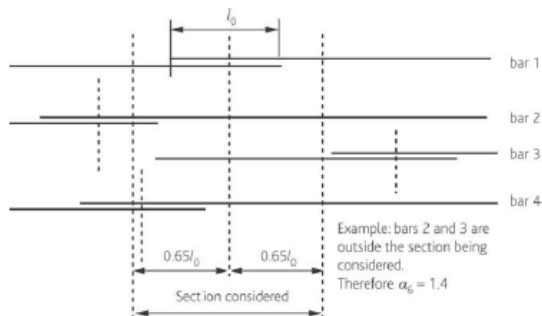
složenih elemenata, najčešće skeletnih sistema. Kod stubova se uvijek pojavljuju momenti savijanja i transversalne sile koje imaju sekundarni karakter. Vertikalni element konstrukcije tretiramo kao stub kada je presjek elementa pravougaonog oblika, sa odnosom strana $b/d < 5$.

Evrokod se primjenjuje u projektovanju konstrukcijskih elemenata u seizmičkim područjima, pri čemu se nastoji obezbjeđenju sledećeg:

- Zaštiti ljudskih života,
- Ograničenju oštećenja,
- Ne narušavanju upotrebljivosti objekta za zaštitu ljudi.

Treba naglasiti da je apsolutno ispunjenje postavljenih ciljeva nemoguće, kako zbog nepredvidljive prirode zemljotresa, tako i zbog veličine oslobođene zemljotresne energije. Projekat betonske zgrade otporne na zemljotres treba da obezbijedi odgovarajući kapacitet za disipaciju energije, bez značajnog umanjenja ukupne nosivosti konstrukcije na horizontalna i vertikalna opterećenja. Globalno duktilno ponašanje konstrukcije je obezbijeđeno ukoliko je zahtijevana duktilnost raspodijeljena na veliki broj elemenata i u više zone jednog elementa. Građevinske konstrukcije moraju biti projektovane i građene da izdrže seizmičko dejstvo bez globalnog ili lokalnog rušenja, a pri prestanku seizmičkog dejstva moraju izdržati integritet i dovoljan kapacitet nosivosti. Međutim, usljed velike dužine referentnog povratnog perioda seizmičkog opterećenja, u normalnim uslovima se može dozvoliti pojava oštećenja, čak i djelimična razaranja nekonstrukcijskih elemenata.

U zavisnosti od stepena oštećenja konstrukcije, razlikuju se tri klase duktilnosti. Da bi se obezbijedila zahtijevana duktilnost konstrukcije, potrebno je da je u svim kritičnim oblastima uključujući i krajeve stuba, obezbijeđena dovoljna duktilnost krivine. Za svaku klasu duktilnosti za stubove je definisana minimalna vrijednost konvencionalnog koeficijenta duktilnosti, kako bi se ispunili zahtjevi plastične rotacije, saglasno usvojenim vrijednostima faktora ponašanja. Pri sidrenju armature u okviru čvora greda-stub, ne uzima se u obzir tečenje čelika usljed cikličnih postelastičnih deformacija, te se dužina sidrenja mjeri od ivice grede. Nastavljanje zavarivanjem nije dozvoljeno u kritičnim oblastima konstrukcijskih elemenata. Nastavljanje armature se vrši preklapanjem. Potrebna poprečna armatura elemenata na dužini nastavljanja se računa stavovima Evrokoda 2. Pri proračunu poprečne armature za dispoziciju nastavaka preklapanjem, mora se koristiti zbir površina svih šipki koje se nastavljaju, kao i površina veće podužne šipke koja se nastavlja preklapanjem.



Slika 2. Procenat šipki nastavljenih u istom presjeku [4]

3.2 Uporedna analiza zidova

Seizmička platna imaju ulogu ukrućenja skeletne konstrukcije, s obzirom na mnogo veće savojne krutosti u odnosu na stubove primaju najveći deo horizontalnih sila. Upotrebom seizmičkih platana postiže se sledeće: smanjuje se velika fleksibilnost skeleta što u velikoj mjeri smanjuje oštećenja na nenosivim elementima, prije svega na pregradnim zidovima.

- umanjuju se efekti drugog reda
- smanjuje se ukupan utrošak betona i armature
- dimenzije skeleta ostaju i kod visokih zgrada zadovoljavajuće male tako da ne ometaju funkciju same zgrade

Prema nacionalnim propisima, kod seizmičkih platana se zahtjeva da intezitet aksijalne sile (maksimalna eksploataciona vrijednost usljed gravitacionih opterećenja) bude manja od one koja prosječni normalni napon čini jednakim 20% čvrstoće betonske prizme. Razlog ovome je sprečavanje preopterećenja betona prilikom jakih zemljotresnih dejstava:

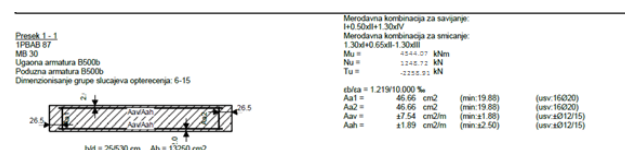
$$\sigma_0 \leq 0.2 * \beta_B = 0.20 * 0.7 * f_{bk}$$

Prema EN standardima, aksijalno opterećenje se ograničava sledećim vrijednostima relativne aksijalne sile u zavisnosti od izabrane klase duktilnosti :

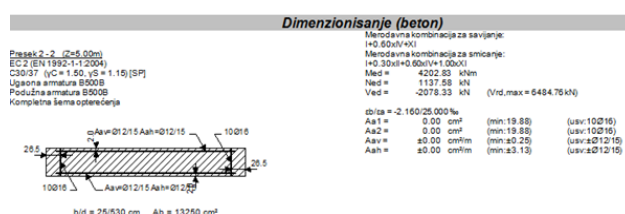
$$V_d = N_{Ed} / (b_w * l_w * f_{cd}) \leq 0.40 \text{ za DCM}$$

$$V_d = N_{Ed} / (b_w * l_w * f_{cd}) \leq 0.35 \text{ za DCH}$$

Pri formiranju kombinacije dejstava, kako prema domaćim tao i prema EN standardima razmatra se parcijalni koeficijent sigurnosti kao i faktor kombinacije pojedinih slučajeva dejstava, te u zavisnosti od proračuna usvaja se preporučena kombinacija opterećenja. Domaćom regulativom dati su veći parcijalni koeficijenti sigurnosti za dejstva, dok za materijale se ne primjenjuju za razliku od EN koji propisuju primjenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti i za materijale čime se redukuju njegove mehaničke osobine. Na sledećim slikama prikazani su proračuni poprečnog presjeka seizmičkog zida u Tower-u 8 prema domaćim standardima i prema Evrokodu.

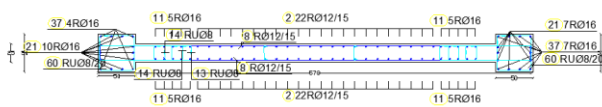


Slika 3. Usvojena armatura seizmičkog platna prema domaćim propisima



Slika 4. Usvojena armatura seizmičkog platna prema Evrokodu

Prilikom dimenzionisanja ustanovljeno je da je potrebna ista količina armature bez obzira na prikazane razlike. Na slici 6. prikazan je armirani poprečni presjek seizmičkog platna

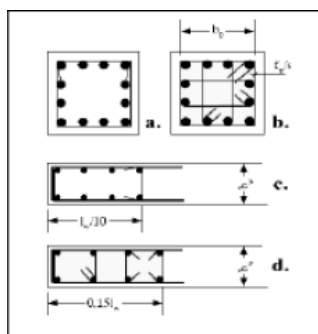


Slika 5. Poprečni presjek seizmičkog zida

4. ZAKLJUČAK

Pri obezbjeđenju određene klase duktilnosti, konstrukciju treba pripremiti za očekivana pomjeranja. Tako Evrokod postavlja određene zahtjeve koji se odnose na armiranje presjeka, minimalne i maksimalne procenat armiranja, utezanje presjeka uzengijama, nastavljajanje armature. Za svaku klasu duktilnosti, za stubove je definisana zahtjevana minimalna vrijednost konvencionalnog faktora duktilnosti krivine. Umjesto dokaza ovog faktora, Evrokod dozvoljava da se prethodni zahtjev smatra zadovoljenim ukoliko se obezbijedi odgovarajuća vrijednost mehaničkog zapreminskog procenta armiranja. Zavisno od usvojene klase duktilnosti, projektovano seizmičko opterećenje prema Evrokodu je dva do četiri puta veće nego prema domaćim standardima. Niži nivo projektovanog opterećenja prema domaćim standardima, podrazumijeva visoku duktilnost konstrukcije.

Količina potrebne armature za stub, prema Evrokodu, je veća nego minimalna količina armature po našim propisima. Veća količina potrebne vertikalne armature u stubovima javlja se kao posljedica većih seizmičkih uticaja. Smatra se da horizontalne komponente seizmičkog opterećenja djeluju istovremeno, tako da se ukupni uticaji dobijaju kao kombinacija maksimalnog dejstva u jednom pravcu sa 30% istovremenog dejstva iz upravnog pravca. Kombinovanje uticaja iz dva međusobno upravna pravca daje veće uticaje mjerodavne za dimenzionisanje presjeka stuba. Na slici 6. presjek stuba i kraja zida je prema Evrokodu neutegnut, neduktilan, jer su uzengije usidrene u zaštitnom sloju betona koji ima tendenciju otpadanja. Prema domaćim propisima, ovaj presjek zadovoljava sve kriterijume.



Slika 6. Utezanje kraja stuba i zida

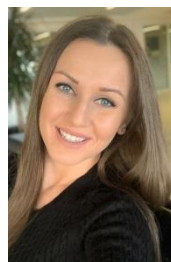
Pored navedenih kombinovanja uticaja iz dva upravna pravca djelovanja zemljotresa, do dodatnog povećanja uticaja u stubovima dolazi usljed određivanja mjerodavnih uticaja po metodi programiranog ponašanja. Prema ovoj metodi mjerodavni momenti savijanja stuba određuju se iz uslova ravnoteže čvora greda-stub, koji je izložen najnepovoljnijoj kombinaciji momenata nosivosti poprečnih presjeka na krajevima stuba. Momenti u stubu određeni prema metodi programiranog ponašanja su nešto

veći u odnosu na momente uticaja iz dva međusobno upravna pravca. Evrokod dozvoljava nešto veće vrijednosti normalnih napona u seizmičkim platnima, u zavisnosti od odabrane klase duktilnosti. Takođe kontrola graničnog stanja upotrebljivosti se razlikuje. Prema domaćim propisima posmatra se samo pomjeranje vrha objekta dok je prema evrokodu od interesa i relativno spratno pomjeranje. Domaći propisi dozvoljavaju veća pomjeranja od evropskih propisa. Bez obzira na date razlike, na primjeru dimenzionisanja seizmičkog platna u ramu H_4 prema nacionalnim propisima i prema evrokodu, utvrđeno je da je dobijena ista količina armature.

5. LITERATURA

- [1] Betonske konstrukcije u zgradarstvu prema Evrokodu, Zoran Brujić, Novi Sad, 2021.
- [2] Materijal sa predavanja i vežbi iz predmeta "Seizmička analiza konstrukcija", Đorđe Lađinović, Andrija Rašeta, Igor Džolev, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet Novi Sad, 2021.
- [3] Najdanović Dušan, "EN 1991-1-1:2002", *Dejstva na konstrukcije-zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja na zgrade*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [4] Najdanović Dušan, "EN 1991-1-3:2003", *Dejstva na konstrukcije-dejstva snega*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2006.
- [5] Najdanović Dušan, "EN 1991-1-4:2003", *Dejstva na konstrukcije-dejstva vetra*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2006.
- [6] Perišić Života, Aćić Mirko, Pavkor Aleksandar, "EN 1992-1-1:2006", *Proračun betonskih konstrukcija*.
- [7] Đorđe Lađinović, "EN 1998-1:2004", *Proračun seizmički otpornih konstrukcija, dio 1*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [8] EN 1990: Eurocode - Basis of Structural Design, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2002.
- [9] EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2004.
- [10] EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical Design, Part 1: General Rules, European Standard, CEN - European Committee for Standardization, 2004.
- [11] EN 1998-1: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard

Kratka biografija:



Nada Pekeljević rođena je u Doboju 1996. godine. Osnovne akademske studije završila je 2020. godine, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad iz oblasti Seizmička analiza konstrukcija odbranila je 2022. godine, pod mentorstvom dr Đorđa Lađinovića, red.prof.
Kontakt: nada.pekeljevic@gmail.com

**HIDRAULIČKA ANALIZA OTPADNE I ATMOSFERSKE VODE NA LOKALITETU
RADNE ZONE U KAĆU****HYDRAULIC ANALYSIS OF WASTE AND ATMOSPHERIC WATER AT THE WORK
ZONE SITE IN KAĆ**

Agnes Ištván, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Predmet ovog rada jeste hidraulička analiza otpadne i atmosferske otpadne vode sa lokaliteta Radne Zone u Kaću, primenom tabelarnog proračuna osnovanu na Racionalnu metodu - za fekalnu kanalizaciju, i primenom programskog paketa EPA SWMM za atmosfersku kanalizaciju. Predmetni prostor se nalazi na površini od oko 190 ha.

Ključne reči: Hidraulički proračun, EPA SWMM, kanalizacija

Abstract – The subject of this work is the hydraulic analysis of wastewater and atmospheric wastewater from the site of the Working Zone in Kać, using a spreadsheet calculation based on the Rational Method - for fecal sewage, and applying the EPA SWMM software package for atmospheric sewage. The subject area is located on around 190 ha of land.

Keywords: Storm sewer, retional method, SWMM method

1. UVOD

Na osnovu raspoloživih podloga i podataka o radnoj zoni, projektovana je gravitaciona kanalizacija separatnog tipa. Kanalizaciona mreža je formirana tako da se sva sakupljena otpadna voda sa teritorije radne zone, odvodi putem kanalizacione mreže do ispusta u kanalsku mrežu koja transportuje do postrojenja za prečišćavanje u Novi Sad fekalnu otpadnu vodu, dok atmosfersku otpadnu vodu ispušta u melioracione kanale.

Rad se sastoji iz dva dela. U prvom delu rada se radi o hidrauličkom proračunu fekalne otpadne vode osnovanu na racionalnu metodu, dok se u drugom delu zadatka koristi se savremeniji SWMM metod za atmosfersku otpadnu vodu.

Prvi deo je dakle projektovanje kanalizacione mreže za fekalnu otpadnu vodu. To je primer kanalizacionog sistema za ravničarsko područje gde zbog topografije terena javljaju se velike dubine ukopavanja cevi. Zbog toga su postavljene dve crpne stanice, i kaskade za savlađivanje tih dubina. Maksimalna dubina ukopavanja je 5.42m, dok je minimalna dubina ukopavanja 1,5 m.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Matija Stipić, redovni profesor

U drugom delu rada proračun je izvršen pomoću softverskog paketa SWMM (Storm Water Management Model). On obuhvata mnogobrojne parametre koji utiču na proračun i rezultate padavina. Prilikom proračuna u ovom radu korišćen je neustaljeni model oticanja jer najviše odgovara realnom vremenu.

Matematički model se formira zadavanjem vizuelnih elemenata mreže sistema kao i određenih parametara, vremenske serije/šablona i kontrole. Za modelovanje se koristi model efektivnih padavina i to kumulativna kriva dvogodišnjeg povratnog perioda u trajanju od 20 minuta, a svi podslivovi u sistemu se opterećuju istim padavinama. Prema ovoj postavci se vodi računa da ne dođe do tečenja pod pritiskom niti do izlivanja.

EPA Storm Water Management Model (SWMM) je dinamički, fizički baziran model kojim se simulira proces transformacije padavina u oticaj. Komponenta oticaja SWMM -a se bazira na kolekciji podslivova područja koja primaju padavine i stvaraju oticanje i zagađena opterećenja [1]. Deo za usmeravanje prenosi ovo oticanje kroz sistem cevi, uređaja za skladištenje/tretman [1]. SWMM prati količinu i kvalitet oticanja, generisanog u svakom od podslivova, i protok, dubinu protoka i kvalitet vode u svakoj cevi i kanalu tokom perioda simulacije koji se sastoji od više vremenskih koraka [1].

SWMM uzima u obzir različite hidrološke procese koji proizvode oticanje iz urbanih područja. Ove uključuju [1]:

- Neravnomerne padavine
- Isparavanje sa stajaćih površinskih voda
- Akumuliranje i topljenje snega
- Zadržavanje vode u površinskim depresijama
- Infiltracija padavina u nezasićene slojeve zemljišta
- Procurivanje infiltrirane vode u slojeve sa podzemnim vodama (perkolacija)
- Interakcija između kolektorskog sistema i podzemnih voda
- Metoda nelinearnog rezervoara za proračun površinskog tečenja

1.1. Projektovanje sistema

Radna zona biće podeljena u dva slivna područja, istočno i zapadno. Površina radne zone iznosi oko 190,47ha. Odvođenje otpadnih i atmosferskih voda rešava se preko separatnog kanalizacionog sistema. Kanalizaciona mreža

otpadnih voda biće orijentisana ka kanalizacionom sistemu Grada Novog Sada dok atmosferska otpadna voda biće orijentisana na postojeće meliorativne kanale, koji funkcionišu u sklopu melioracionih sliva "Kovilj". U pitanju su kanali K-612 i K-611.

U prvom delu zadatka za fekalnu kanalizaciju, slivno područje je podeljena na 59 manjih slivnih površina. Od kojih oko 93,93ha pripada zapadnom delu mreže, dok ostatak od oko 96,54ha pripada istočnom delu mreže.

Ukupna dužina fekalnog kanalizacionog cevovoda iznosi oko 12,63 km. Mrežu čine polietilen (PE) cevi kružnog poprečnog preseka, prečnika od $\varnothing 300$ do $\varnothing 400$ mm i $\varnothing 200$ mm potisni vod. Minimalna dubina ukopavanja je 1,5 m, maksimalna dubina ukopavanja je 5,42 m, dok je minimalni nagib dna kanala za prečnik cevi $\varnothing 300$ je 2,2‰, a za $\varnothing 400$ iznosi 2,0 ‰.

Fekalna otpadna voda se sakuplja sa dva dela područja, sa zapadnog i sa istočnog u crpnoj stanici CS1. Sa zapadnog dela područja direktno teče u crpnu stanicu CS1, dok sa istočnog dela voda se sakuplja u crpnoj stanici CS2 odakle potisnim cevovodom dopumpa svu sakupljenu otpadnu vodu sa istočnog dela do tačke C40 odakle gravitaciono teče sve do crpne stanice CS1. Ukupna količina fekalne otpadne vode odavde se priključuje na gradsku kanalizacionu mrežu i dovodi se do postrojenja za prečišćavanje u Novi Sad.

U drugom delu zadatka, usvojeni procenat nepropusnih površina je 60%. Takođe je mreža podeljena na istočni i zapadni deo mreže.

Model je numerički sa fizičkom osnovom a sastoji se od 53 čvorova, 51 deonice, 41 slivne površine, 2 retenzije i 2 izliva. Sliv je detaljno analiziran, kanalizaciona mreža je predstavljena realnim oblikom i položajem. Usvojen maningov koeficijent hrapavosti $n=0,013 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$, u skladu sa izabranim cevničkim materijalom.

Atmosferska voda se gravitaciono kreće kroz sistem u kom nije bilo potrebe za crpnom stanicom. Pošto je veliki procenat nepropusnih površina, to je jedan od razloga zbog kog je bilo potrebe za retenzionim bazenima. Mreža kolektora je postavljena tako da ispoštuje minimalan pad dna cevi za određene deonice i da se isto vreme voda što kraćim putem odvede do retenzije.

Mreža se sastoji od zatvorenih cevi kružnog poprečnog preseka. Prečnik cevovoda se kreće od $\varnothing 600$ do $\varnothing 1200$. Retenzije su pravougaonog poprečnog preseka sa dimenzijama 50m x 140m x 3,5m. Izlivna cev iz oba retenzije je prečnika $\varnothing 250$. Minimalna dubina ukopavanja cevi je 1,41m, a najveća 4,63m.

2. REZULTATI PRORAČUNA

2.1. Tabelarni hidraulički proračun kanalizacione mreže za fekalnu otpadnu vodu

Metodologija proračuna fekalne kanalizacije pomoću tabele, suštinski nije veliki problem. Tabela je sastavljena pomoću Racionalne metode za proračun kanalizacione mreže, i korigovana je da odgovara slučaju zadatka. Neophodno je praviti određene korake kako bi se došlo do merodavnih proticaja, validnih za dimenzionisanje.

Prethodno su obavljeni svi poslovi koji daju ulazne veličine za hidraulički proračun.

- Poznat je efektivni protok $q_{ef}=0,2 \text{ l/s/ha}$
- Određena je trasa budućih cevovoda i poznate njihove dužine
- Poznate su kote terena
- Poznati su smerovi tečenja vode u cevima
- Usvojen je koeficijent oticaja na slivnom području $\Psi=0,4$
- Poznat je prečnik kanalizacione mreže $\varnothing 300$, $\varnothing 400$

Sa zapadnog dela područja maksimalan protok iznosi $Q_1=16,75 \text{ l/s}$. Dok na istočnom delu maksimalan protok je $Q_2=21,38 \text{ l/s}$. Potisni cevovod tu količinu sa istočnog dela dopumpa do tačke C40 odakle gravitaciono teče preko cevi $\varnothing 400$ sve do crpne stanice CS1. Ukupna količina fekalne otpadne vode u CS1 tada iznosi $Q_3=38,13 \text{ l/s}$, odakle se priključuje na gradsku kanalizacionu mrežu i dovodi se do postrojenja za prečišćavanje u Novi Sad.

Hidraulički proračun i dimenzionisanje kanalizacione mreže su urađeni za merodavnu količinu otpadne vode. Rezultati su pokazali da je ovo hidraulički funkcionalan sistem. Pošto nije svugde postignuta minimalna brzina u mreži (najmanja brzina u mreži iznosi $0,16 \text{ m/s}$) potencijalni problem je taloženja suspendovanih materija iz otpadne vode, se rešava (i sprečava) redovnim održavanjem kanalizacionog sistema.

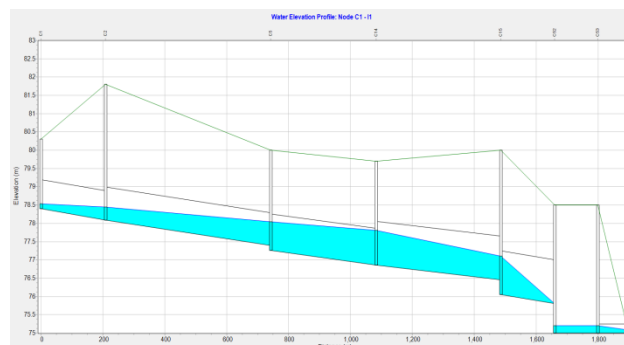
2.2. SWMM metoda - Kiša dvogodišnjeg povratnog perioda

Merodavne su padavine dvogodišnjeg povratnog perioda, trajanja 20 minuta.

Tabela 1. Visine padavina za kišu dvogodišnjeg povratnog perioda i trajanja 20 minuta

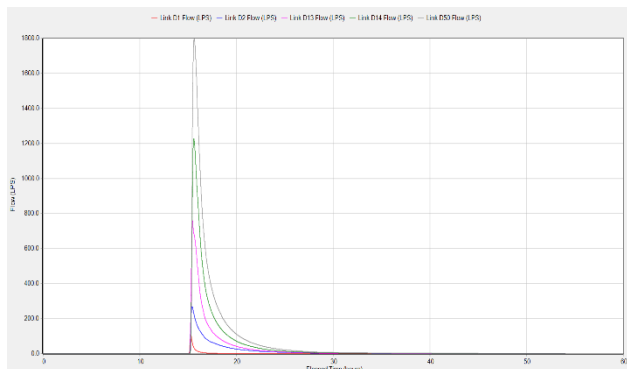
Vreme (h:min)	Visina padavina (mm)
15:00	0
15:05	7
15:10	12
15:15	14
15:20	14.1

Dubina vode u deonici od najudaljenije tačke zapadnog dela mreže do izliva I1 u času najvećeg opterećenja mreže zatvorenih kolektora prikazana na slici 1. Ovaj deo prolazi kroz cevi D1, D2, D13, D14, D50, D52 (retenzija 1) i D53 odakle izlazi u meliorativni kanal K-612.



Slika 1. Uzdužni profil kanalizacione mreže sa maksimalnom linijom nivoa od C1 do I1 pri padavinama povratnog perioda 2 godine

Promena protoka kroz istu mrežu zatvorenih kolektora do C42 je prikazana na slici 2, sa maksimalnim protokom na ulivu u retenziju 1, koja iznosi 1796,72 l/s, dok se u meliorativni kanal ispušta 62,50 l/s.

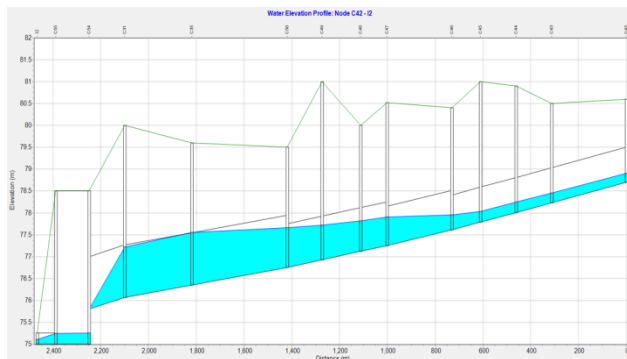


Slika 2. Promena protoka kroz vreme u kolektorima D1, D2, D13, D14 i D50 za kišu dvogodišnjeg povratnog perioda

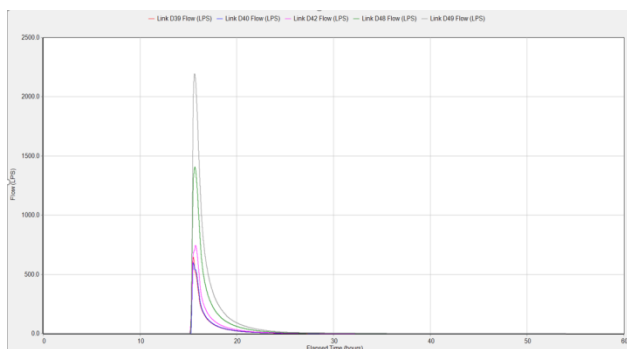
Maksimalan nivo u retenziji 1 (C52-C53) iznosi 1,21m, što u dopuštenim granicama visine punjenja retenzije.

Dubina vode u deonici od najudaljenije tačke istočnog dela mreže do izliva I2 u času najvećeg opterećenja mreže zatvorenih kolektora prikazana na slici 3. Ovaj deo prolazi kroz cevi D30, D31, D32, D33, D34, D38, D39, D40, D42, D48, D49, D54 (retenzija 2) i D55 odakle izlazi u meliorativni kanal K-611.

Promena protoka kroz istu mrežu D39, D40, D42, D48, D49 je prikazana na slici 4, sa maksimalnim protokom na ulivu u retenziju 1, koja iznosi 2194,02 l/s, dok se u meliorativni kanal ispušta 67,39 l/s.



Slika 3. Uzdužni profil kanalizacione mreže sa maksimalnom linijom nivoa od C42 do I2 pri padavinama povratnog perioda 2 godine



Slika 4. Promena protoka kroz vreme u kolektorima D39, D40, D42, D48 i D49 za kišu dvogodišnjeg povratnog perioda

Maksimalan nivo u retenziji 2 (C54-C55) iznosi 1,32m, što ispunjava maksimalan nivo punjenja retenzije.

2.2. SWMM metoda - Kiša dvadesetogodišnjeg povratnog perioda

Merodavne su padavine dvadesetogodišnjeg povratnog perioda, trajanja 20 minuta.

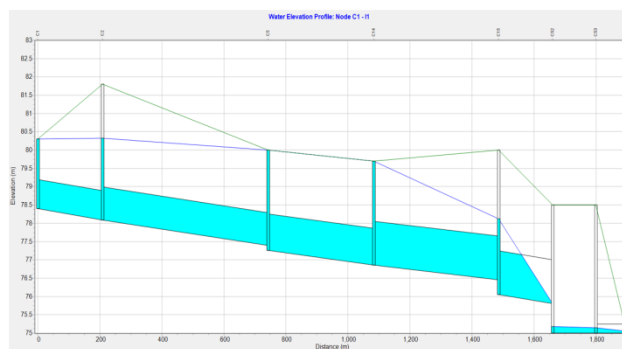
Tabela 2. Visine padavina za kišu dvadesetogodišnjeg povratnog perioda i trajanja 20 minuta

Vreme (h:min)	Visina padavina (mm)
15:00	0
15:05	11.8
15:10	22.05
15:15	26.9
15:20	30

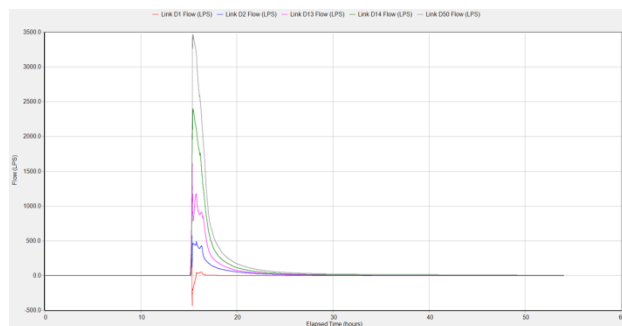
Kao ulazni podatak merodavnih padavina dvadesetogodišnjeg povratnog perioda, modelirana je kiša prema podacima iz tabele 2.

Nivo vode deonice najudaljenije tačke C1 od izliva I1 na zapadnom delu mreže u času najvećeg opterećenja mreže zatvorenih kolektora prikazana na slici 5.

Promena protoka kroz istu deonicu, od tačke C1 do C52 je prikazana na slici 6, sa maksimalnim protokom na ulivu u retenziju 1, koja iznosi 3469,63 l/s, dok na izlivu I1 u meliorativni kanal K-612, protok iznosi 97,41 l/s.



Slika 5. Uzdužni profil kanalizacione mreže sa maksimalnom linijom nivoa od C1 do I1 pri padavinama povratnog perioda 20 godine

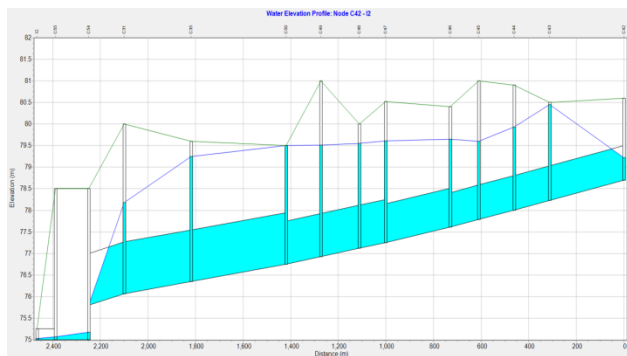


Slika 6. Promena protoka kroz vreme u kolektorima D1, D2, D13, D14 i D50 za kišu dvadesetogodišnjeg povratnog perioda

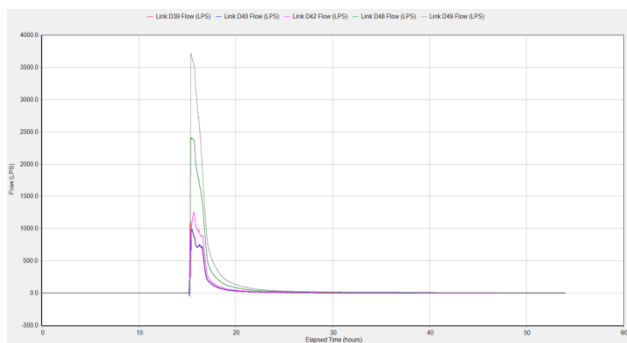
Maksimalan nivo u retenziji 1 (C52-C53) za kišu dvadesetogodišnjeg povratnog perioda iznosi 2,51m, što u dopuštenim granicama visine punjenja retenzije.

Nivo vode u času maksimalnog opterećenja mrežena istočnom delu mreže prikazan na slici 7. Od tačke C51 do I2.

Promena protoka kroz istu deonicu, od tačke C48 do C54 prikazana na slici 8. Maksimalan protok na izlivu u retenziju 2 iznosi 3716,98 l/s, dok na izlivu I2 u meliorativni kanal K-611, protok iznosi 100,87 l/s.



Slika 7. Uzdužni profil kanalizacione mreže sa maksimalnom linijom nivoa od C42 do I2 pri padavinama povratnog perioda 20 godina



Slika 8. Promena protoka kroz vreme u kolektorima D39, D40, D42, D48 i D49 za kišu dvadesetogodišnjeg povratnog perioda

Maksimalan nivo u retenziji 2 (C54-C55) za kišu dvadesetogodišnjeg povratnog perioda iznosi 2,58m, što je u dopuštenim granicama visine punjenja retenzije.

3. ZAKLJUČAK

U prvom delu rada je isprojektovana fekalna kanalizaciona mreža dok u drugom delu rada isprojektovana atmosferska kanalizaciona mreža sa 20-minutne kiše povratnog perioda 2 godine, a zatim izvršena i analiza 20-minutne kiše povratnog perioda 20 godina, jer se radi o radnoj zoni gde je propusna moć zemljišta veća nego na urbanim sredinama.

Izmodelirana je separata kanalizacija za odvođenje fekalnih i atmosferskih voda koja se sastoji od zatvorenih kružnih kolektora. Sistem je gravitacioni sa slobodnim tečenjem.

Fekalna kanalizacija se sakuplja na crpnoj stanici CS1 na zapadnom delu mreže, odakle će svu količinu otpadne vode priključiti na gradsku kanalizacionu mrežu Novoga Sada. Minimalni prečnik se javlja na potisnom delu mreže iznosi $\varnothing$ 200, dok se mreža sastoji od PE cevi prečnika $\varnothing$ 300 i $\varnothing$ 400.

Atmosferska kanalizacija je projektovana tako da mreža ispunjava zahteve kriterijuma prilikom padavina dvogodišnjeg povratnog perioda.

Mreža se sastoji od zatvorenih cevi kružnog poprečnog preseka. Prečnik cevovoda se kreće od $\varnothing$ 600 do $\varnothing$ 1200. Retenzije su pravougaonog poprečnog preseka sa dimenzijama 50m x 140m x 3,5m. Izlivna cev iz oba retenzije je prečnika $\varnothing$ 250.

Možemo zaključiti da nigde na prikazanim delovima ne dolazi do izlivanja i do tečenja pod pritiskom. Takođe u svim cevima brzine toka se nalaze u okviru propisanih vrednosti, na mestima gde se ne ostavlja ta brzina, preporuka je da Nadležna Javna komunalno preduzeće, koji održava kanalizacioni sistem, da izvrši češće pranje cevovoda da se ne bi došlo do istaložavanja na dnu cevi.

Na osnovu svega navedenog može smatrati da je mreža dobro dimenzionisana.

4. LITERATURA

- [1] Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1
- [2] Pisana predavanja: doc. dr Matija Stipić, Komunalna hidrotehnika, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2018

Kratka biografija:



Agnes Istvan rođena je u Kikindi 1993. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Hidrotehnika odbranila je 2022. god.

kontakt:

agnesistvan@gmail.com

PRIMENA „LEAN CONSTRUCTION“ U GRAĐEVINARSTVU – PRIMER PREFABRIKOVANE ARMIRANO BETONSKE HALE OD PROIZVODNJE DO MONTAŽE**APPLICATION OF "LEAN CONSTRUCTION" IN CONSTRUCTION - AN EXAMPLE OF A PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE HALL FROM THE PRODUCTION TO THE ASSEMBLY**

Nikola Pongračić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U okviru ovog rada predstavljen je princip optimizacije resursa sa aspekta gubitaka koji se javljaju u toku izvođenja radova. Kao osnova za izradu rada korišćen je „LEAN CONSTRUCTION“ princip, a konkretno na primeru procesa od proizvodnje armirano betonskih elemenata montažne hale, preko procesa transporta elemenata montažne konstrukcije od proizvodnog pogona do gradilišta, do ugradnje elemenata na gradilištu. Svaki od navedenih kriterijuma gubitaka u osnovnom dokumentu „LEAN CONSTRUCTION“ obrađen je u svakoj od faza izvršavanja radnji i na taj način predstavljeni su načini optimizacije svakog od procesa u izvođenju radova.

Ključne reči: - vremenski gubici, optimizacija resursa

Abstract – this work presents the principle of resource optimization from the aspect of losses that occur during the execution of works is presented. The "LEAN CONSTRUCTION" principle was used as the basis for the work, specifically on the example of the process from the production of reinforced concrete elements of the prefabricated hall through the process of transporting prefabricated elements from the production plant to the construction site, to the installation of elements on the construction site. Each of the stated criteria of losses in the basic document "LEAN CONSTRUCTION" is processed in each of the phases of execution of works and thus the ways of optimization of each of the processes in the execution of works are presented.

Keywords: time losses, resource optimization

1. UVOD

Sušтина najoptimalnijeg i najisplativijeg izvršavanja svake od radnji u građevinarstvu jeste težnja ka umanjenju gubitaka koji su neminovni usled svake od operacija koje se izvršavaju. Prvenstveno je potrebno jasno definisati pojedinačno pozicije za izvršavanje svake od radnji kako bi se najkvalitetnije sagledali svi eventualni nedostaci koji kao posledicu imaju stvaranje gubitaka.

U radu je predstavljen „LEAN“ koncept koji je nastao u proizvodnom pogonu „TOYOTA“ gde su predstavljeni

principi koji definišu efikasno planiranje, pripremu, izradu i kontrolu u lancu proizvodnje. Koncept podrazumeva sistemsko iznalaženje nepotrebnih aktivnosti u procesima rada, kao i izvor gubitaka, a sa ciljem da se utiče na kvalitet završnog proizvoda, troškove izrade i vreme izvršenja svake od radnji.

2. LEAN KONCEPT U GRAĐEVINARSTVU

Predstavlja segment tehnologije i organizacije građenja koji se bavi optimizacijom procesa koji utiču na efikasnost izrade građevinskog objekta kroz sve faze: projektovanje, razrada iznalaženja najoptimalnijih rešenja za tehnologiju izvođenja, kao i na kraju samo izvođenje. Suština jeste postizanje balansa između tri osnovna faktora koji definišu efikasnost izvođenja objekta, a oni su:

- Vreme izrade
- Cena koštanja objekta
- Kvalitet izvedenih radova

3. PROIZVODNJA PREFABRIKOVANIH ARMIRANO BETONSKIH ELEMENATA

Proizvodnja prefabrikovanih armirano betonskih elemenata predstavlja složen proces u kojem se od osnovnih sirovina, betona i betonskog gvožđa sa svim dodatnim konstruktivnim elementima u vidu čeličnih ploča, profila i ankera za kasniju montažu npr. elemenata spoljašnje obloge, proizvode konstruktivni delovi konstrukcije u svemu prema projektnoj dokumentaciji.



Slika 1. Proizvodnja AB elemenata

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Peško, vanr. prof.

4. GUBICI U PROCESU PROIZVODNJE ELEMENATA

Gubici u procesu proizvodnje mogu biti višestruki, a zavise od niza faktora. Cilj obrade svakog od pojedinačnih gubitaka u toku proizvodnje jeste optimizacija proizvodnje spram kapaciteta proizvodnog pogona u svrsi eliminisanja bilo kakvih suvišnih aktivnosti koje ne doprinose vrednosti krajnjeg proizvoda. Osnova Lean construction metode koja je bazirana na monitoringu svakog procesa pojedinačno, a koji se zasniva na planiranju – izvođenju – uočavanju eventualnih problema – delovanju kako bi se uočeni problemi rešili.

Dakle, lean construction predstavlja kontinuirani proces koji teži idealnom, ali se ne završava jer prethodno poboljšanje teži narednom i sve u svrsi istog, iznalaženju najoptimalnijeg procesa rada za svaku od operacija. U radu je predstavljen proces proizvodnje od trenutka planiranja do izrade armirano betonskih prefabrikovanih elemenata konstrukcije.

Predstavljani su nedostaci i načini na koje se vršila korekcija prvobitne tehnološke izrade, a sve u svrsi optimizacije procesa proizvodnje.

5. GUBICI U PROCESU TRANSPORTA ELEMENATA

Transport kao jedna od tri osnovne radnje svake pojedinačne stavke predmeta radova gde se spominju: nabavka (konkretno izrada), transport i ugradnja elemenata predstavlja vezu između dve osnovne radnje. Neophodno je pravilno ga isplanirati kako bi dva pomenuta fronta, proizvodnja i ugradnja, funkcionisali kao celina. Konkretno, transport prvih elemenata u predmetnom zadatku koji je tema ovog rada je započeo nakon proizvodnje cca. 80% ukupne količine elemenata. Konstatovano je da će se sa planiranom dinamikom ugradnje elemenata na samom gradilištu, svi prefabrikovani elementi proizvesti i transportovati na vreme kada bude trebalo da se ugrade.



Slika 2. Transport AB elemenata

6. GUBICI U PROCESU UGRADNJE ELEMENATA

Ugradnja prefabrikovanih armirano betonskih elemenata predstavlja poslednju stavku ugovorne obaveze izvođača radova za svaku pojedinačnu stavku predmeta radova. Proizvodni pogon i brigada na gradilištu su dva odvojena sektora koji funkcionišu kao celina radi ostvarivanja krajnjeg cilja, izvršenja konstrukcije na gradilištu. Odvojene brigade ne počinju radove istovremeno. Sve dok proizvodni pogon ne postigne cca. 75-80% ukupno potrebne proizvodnje, brigada koja vrši montažu konstrukcije ne odlazi na teren.

U ovaj vremenski period ne računamo prethodne pripreme radove u vidu zemljanih radova, konkretno za pomenute radove je bila angažovana specijalizovana firma koja je elaboratima o ispitivanju zbijenosti tla dokazala da su pripremi radovi izvedeni po projektu i montaža prefabrikovane armirano betonske konstrukcije je mogla da počne.

U procesu ugradnje prefabrikovanih armirano betonskih elemenata je izvršen najmanji broj korekcija jer sam proces predstavlja tipiziran proces čije radnje su izvršavane mnogo puta ranije, tako da su prateći nedostaci u startu bili svedeni na minimum zahvaljujući pređašnjim iskustvima brigade za ugradnju elemenata na gradilištu. Bez obzira na veliko iskustvo svih članova brigade, ovim radom demonstrirano je da uz pomoć kontinuiranog monitoringa prostor za nadogradnju i poboljšanje svakog procesa postoji.

Lean construction principom koji sagledava više faktora koji uzrokuju gubitke, uglavnom vremenske koji su samim tim i finansijski, obrađene su karakteristični segmenti koji su uočeni da predstavljaju nepotrebu ili prekomernu radnju i pravovremenim reagovanjem trenutno su izvršene korekcije. Prostor za nadogradnju i poboljšanje u izvođenju svakako nije u potpunosti realizovan, što svakako i predstavlja Lean construction princip – kontinuirani monitoring i poboljšanja uz težnju idealnom koje se ne ostvaruje jer proces monitoringa po navedenom principu se ne prekida nikad.



Slika 3. Ugradnja AB elemenata

7. ZAKLJUČAK

Obradenim predmetnim zadatkom obuhvaćen je ukupan proces predmerom predviđenih radova na izgradnji objekta prefabrikovane armirano betonske konstrukcije hale, sa svim gubicima podeljenim u tri osnovne faze: gubici u fazi proizvodnje, transporta i montaže armirano betonske konstrukcije. Osnovu za izradu rada predstavlja literatura Lean sistem, Fakultet tehničkih nauka, dok su konkretni podaci o zaista prisutnim gubicima u svakoj od faza obrađeni iskustveno na osnovu učestvovanja u pomenutom projektu. Konceptualno LEAN predstavlja relativno jednostavan metod, ali zahteva apsolutnu posvećenost svih učesnika na projektu kako bi svi činioci procesa funkcionisali u idealnom skladu. Suština je postizanje cilja uz kontinuirani timski rad. Polazna tačka lean koncepta je planiranje, tj. pravljenje generalnog plana koji se takođe naziva i dinamički plan gde su grubo određeni vremenski intervali za sprovođenje predmetnog zadatka u delo. Pomenuti planovi nikad nisu sprovedeni u delo sa količinski 100% uspešnosti, uglavnom se taj procenat kretao u granicama od 70-80% planiranog. Kao takav nije ostavljao prostora za apsolutnim zadovoljstvom sa izvedenim, te se uvek težilo još jednom procentu od ukupne mase od ciljanih 100%. Navedeni princip u suštini i jeste filozofija LEAN construction-a gde idealno ne postoji, gde se kontinuirano vrši analiza izvedenog i to na koji način je izvedeno i za koliko vremena sa kolikim vremenskim gubicima.

Objekat koji je bio predmet radova jeste nadogradnja skladištenog kompleksa hladnjače. Na predmetnom lokalitetu je prvobitno bila izgrađena hala koja se u toku eksploatacije objekta ispostavila kao nedovoljna za potrebe investitora i stoga se stupilo u realizaciju nadogradnje. Nadograđeni objekat predstavlja skladišteni prostor površine cca. 4000 m², sa visinom slemena od 14.60 m.

Za kompletno izvođenje radova od procesa proizvodnje do poslednjeg ugrađenog elementa bilo je potrebno 74 radna dana i radovi su izvedeni u prethodno ugovorenom vremenskom roku.



Slika 4. Izvedena nadogradnja skladišta hladnjače na predmetnom lokalitetu – izvor google maps

8. LITERATURA

- [1] Beker I., Morača S., Lazarević M. i drugi, Lean sistem, *Fakultet tehničkih nauka*, Novi Sad, 2017.
- [2] Čočkalović D., Vorkapić M., Đorđević D., Bogetić S., Lean koncept u preduzećima sa maloserijskom proizvodnjom u Srbiji, *Zbornik radova ISBN 978-86-7680-343-9*, Beograd, 2017.
- [3] Hann C., The art of efficiency: How to do one thing at a time, *Chicago*, 2013.
- [4] Lazić M., Alati, metode i tehnike unapređenja kvaliteta, *Mašinski fakultet, Kragujevac*, 2006.
- [5] Lazić M., Šest sigma – filozofija kvaliteta u 21. veku, *Zbornik radova ISBN 978-86-86663-33-7*, Kragujevac, 2009.
- [6] Liker J. K., Convis G. L., Toyota way to lean leadership, *Utah*, 2011.
- [7] Sanchez Marquez J., Lean construction, *Montreal*, 2014.
- [8] Womack J. P., Jones D. T., Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation, *University of Michigan*, 1996.
- [9] Glenn Ballard - Lean Construction https://www.youtube.com/watch?v=51v_cboZXTY
- [10] Lecture on Lean Construction and Last Planner System <https://www.youtube.com/watch?v=DyKp3t8HUvw>

Kratka biografija:

Nikola Pongrašić rođen u Novom Sadu 1990. godine. U oktobru 2009. godine upisuje osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka, oblast Građevinarstvo. U julu 2016. godine stiče zvanje diplomiranog inženjera građevinarstva na odseku hidrotehnika.

POREĐENJE ODGOVORA ZGRADE SA TAVANICAMA DIREKTNO OSLOJENJENIM NA STUBOVE ZA RAZLIČITE SEIZMIČKE ULAZE

A COMPARISON OF FLAT SLAB BUILDING RESPONSE FOR DIFFERENT SEISMIC INPUTS

Dragan Vasić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Predmet rada jeste upoređivanje rezultata i prikaz odgovora konstrukcije grednog oslanjanja ploča i direktno oslonjenih na stubove sa kapitelima. Fokus je na seizmičkom odgovoru konstrukcije za različite kategorije tla (A, B, C, D, E) i projektnog ubrzanja tla (0,05-0,20 g).

Ključne reči: višespratna AB zgrada, pečurkaste tavanice, seizmički odgovor konstrukcije

Abstract – The subject of the thesis is the comparison of results and review of the structural responses of systems with slabs supported by beams and directly supported by columns with drops. The focus is on the seismic response of the structure for different soil categories (A, B, C, D, E) and design soil acceleration (0.05-0.20 g).

Keywords: multistory RC building, flat slab with drops, seismic structural response

1. UVOD

Objekat sadrži podrumski deo, prizemlje i pet spratova. Debljina međuspratnih ploča je 25 cm osim krovne ploče koja je 20 cm, dimenzija greda su 40/65 cm, a seizmički zidovi su 25 cm. Stubovi su promenljivog poprečnog preseka: 60/60 cm, 60/55 cm u prizemlju i na prvom spratu, a na ostalim spratovima su od 50/50 cm do 40/40 cm. Obodni stubovi su 45/45 cm. Objekat je oslonjen na temeljnu ploču debljine 40 cm, ojačanu temeljnim gredama 60/120 cm.

Za dalji rad iz ovakve konstrukcije isključene su grede, koje su ostavljene samo po obodu objekta. Zbog drugačije preraspodele uticaja, očekivano je da tavanice sada imaju problem sa probijanjem, pa su na II, III i IV spratu povećani svi stubovi na 50/50 cm. Takođe je povećana debljina međuspratne ploče na 30 cm, ojačana pravugaonim kapitelom (eng. drop panel) širine 2,0x2,0 m, debljine 20 cm. Na krovnoj ploči debljina ploče je ostala 20 cm.

Obodni stubovi su povećani na 50/50 cm. Seizmički zidovi su smanjeni na 20 cm debljine.

Modeliranje i proračun izvršeno je u softveru „Tower 8.0”, prema Evropskim normativima. Usvojena je srednja klasa duktilnosti (DCM).

NAPOMENA:

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

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. Razmatrana opterećenja

Kao opterećenja na konstrukciju analizirana su dejstva: stalna (sopstvena težina elemenata), promenljiva (korisno opterećenje, vetar, sneg), seizmičko.

Korisno opterećenje je usvojeno u zavisnosti od namene prostorija, a kako ovaj objekat sadrži prodajni prostor, kancelarije i restoran, usvojene su vrednosti za C, odnosno D kategoriju vrste opterećenja.

Seizmičko dejstvo je zadato prema projektnom ubrzanju tla od 0,05 do 0,2 g sa korakom od 0,05 g.

$$a_g = 0,05g * \gamma_I = 0,05 * 9,81 * 1,0 = 0,490 \text{ m/s}^2$$

$$a_g = 0,10g * \gamma_I = 0,10 * 9,81 * 1,0 = 0,981 \text{ m/s}^2$$

$$a_g = 0,15g * \gamma_I = 0,15 * 9,81 * 1,0 = 1,471 \text{ m/s}^2$$

$$a_g = 0,2g * \gamma_I = 0,20 * 9,81 * 1,0 = 1,962 \text{ m/s}^2$$

2.2. Kategorija tla i elastični spektar odgovora

Uticaji lokalnih uslova i prirode nosećeg tla utiču na seizmičko dejstvo, pa je u standardima određena klasifikacija tla na kategorije sa opisom geološkog profila. U Tabeli 1 su prikazane kategorije tla i njihov geološki profili. U ovom zadatku su korišćeni parametri kategorija A, B, C, D i E.

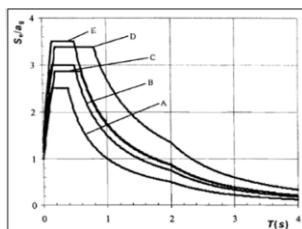
Tabela 1. Kategorije tla, karakteristike i parametri

Kategorija tla	Opis geološkog profila	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{eq} (udarci/30 cm)	C_w (kPa)
A	Stena ili stenska geološka formacija, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	> 800	-	-
B	Depoziti vrlo gustog peska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine barem nekoliko desetina metara, sa povećanjem mehaničkih osobina sa dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Duboki depoziti gustog ili srednje gustog peska, šljunka ili krute gline, sa debljinama od nekoliko desetina do više stotina metara	180 - 360	15 - 50	70-250
D	Depoziti slabo-do-srednje nekohezivnog tla (sa ili bez mekih kohezivnih slojeva) ili dominantno meko-do-čvrsto kohezivno tlo	< 180	< 15	< 70
E	Tlo čiji se profil sastoji iz aluvijalnog sloja sa vrednostima v_s za Tip C ili D i sa debljinom koja varira između oko 5m i 20m, ispod kojeg je kruto tlo sa $v_s > 800$ m/s			

Zemljotresno kretanje u datoj tački na površini tla prikazano je preko elastičkog spektra odgovora ubrzanja tla. Vrednosti perioda T_B , T_C , i T_D kao i faktor tla S definišu oblik elastičnog spektra odgovora, i zavise, od kategorije tla [1]. Na Slici 1 prikazani su oblici elastičnog spektra odgovara po kategorijama tla, a vrednosti kojima se opisuju oblici za svaku kategoriju prikazane u Tabeli 2.

3. MODEL KONSTRUKCIJE

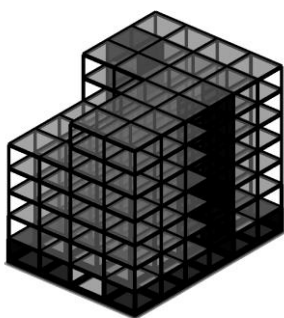
Numerički modeli konstrukcije sa i bez greda prikazani su na Slikama 2 i 3.



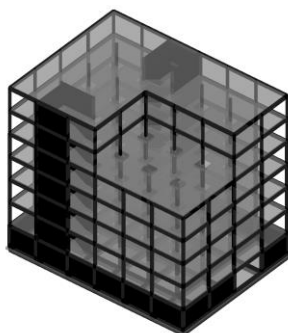
Slika 1. Oblici elastičnog spektra odgovora

Tabela 2. Parametri za elastični spektar odgovora

Elastični spektar odgovora tip 1				
Kat. tla	S	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



Slika 2. Model konstrukcije – skeletni sistem sa gredama



Slika 3. Model konstrukcije – pečurkaste tavanice

3.1. Elementi konstrukcije

Za horizontalne površinske elemente je redukovana krutost van ravni dok je kod seizmičkih zidova redukovana i u ravni ploče. Vrednost redukcije smičuće i savojne krutosti za seizmičke zidove je 50%. Prikazani su setovi ploča u Tabeli 3, koji su korišćeni u ovom modelu sa odgovarajućim karakteristikama. Temeljna ploča i kapitel (eng. drop panel) su klasifikovani kao debele ploče, a ostale ploče kao tanke ploče.

Tabela 3. Karakteristike pločastih elemenata

Setovi ploča							
No	d[m]	e[m]	Materijal	Tip proračuna	Ortotropija	E2[kN/m ²]	G[kN/m ²]
Temeljna ploča	0.400	0.200	1	Debela ploča	Izotropna		
Međuspratna ploča	0.300	0.150	1	Tanka ploča	Izotropna		
SEIZMIČKI ZIDOV							
ST: Em x 0,5, E x 0,5, y x 1; SE: Em x 0,5, E x 0,5, y x 1;							
0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna			
ST: Em x 0,5, E x 0,5, y x 1; SE: Em x 0,5, E x 0,5, y x 1;							
Podrumski zidovi	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna		
Stepenišna ploča	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna		
Krovna ploča	0.200	0.100	1	Tanka ploča	Izotropna		
ST: Em x 0,5, E x 0,5, y x 1; SE: Em x 0,5, E x 0,5, y x 1;							
DROP PANEL	0.500	0.150	1	Debela ploča	Izotropna		

Razlog redukcije krutosti je isprskalost preseka elemenata, koja je realna slika u konstrukciji tokom eksploatacije, te utiče na raspored uticaja i deformacija.

Za gredne elemente i stubove je redukovana savojna i smičuća krutost za 50%, dok je torziona krutost greda redukovana za 90%, što je prikazano u Tabeli 4.

Tabela 4. Karakteristike linijskih elemenata

Setovi gredi

Set 1. Presak: GREDA b14=120, fiksna ekscentričnost

Mat	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C50/37	7.200e-1	6.000e-1	6.000e-1	6.933e-2	2.160e-2	6.946e-2

Set 2. Presak: STUB b14=40x55, fiksna ekscentričnost

Mat	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C50/37	3.300e-1	2.750e-1	2.750e-1	1.619e-1	4.900e-2	6.919e-2

ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;
SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;

Set 3. Presak: STUB b14=40x50, fiksna ekscentričnost

Mat	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C50/37	2.800e-1	2.400e-1	2.400e-1	1.400e-1	4.200e-2	5.200e-2

ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;
SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;

Set 4. Presak: STUB b14=40x40, fiksna ekscentričnost

Mat	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C50/37	1.600e-1	1.333e-1	1.333e-1	1.600e-1	2.133e-2	2.133e-2

ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;
SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;

Set 5. Presak: GREDA b14=40x55, fiksna ekscentričnost

Mat	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C50/37	3.300e-1	2.750e-1	2.750e-1	1.619e-1	4.900e-2	6.919e-2

ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;
SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;

Set 6. Presak: STUB b14=40x50, fiksna ekscentričnost

Mat	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C50/37	2.800e-1	2.400e-1	2.400e-1	1.400e-1	4.200e-2	5.200e-2

ST: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;
SE: EA1 x 1, EA2 x 0,5, EA3 x 0,5, EI1 x 0,5, EI2 x 0,5, EI3 x 0,5, y x 1;

3.2. Modalna analiza i konstruktivni sistem

U Tabeli 5 prikazani su periodi oscilovanja konstrukcije za gredni i bezgredni sistem. Primećuje se da je bezgredni sistem krući.

Na osnovu rasporeda horizontalnog opterećenja moguće je odrediti konstruktivni sistem i ući u dalju analizu faktora ponašanja. U Tabelama 6 i 7 su prikazane procentualne vrednosti učešća zidova u prenosu opterećenja za gredni i bezgredni sistem.

Tabela 5. Periodi oscilovanja

Periodi oscilovanja konstrukcije				Periodi oscilovanja konstrukcije			
No	T [s]	f [Hz]		No	T [s]	f [Hz]	
1	1.2687	0.7882	1	1	1.1785	0.8485	
2	0.9638	1.0376	2	2	0.8893	1.1245	
3	0.7768	1.2874	3	3	0.7250	1.3794	
4	0.2874	3.4790	4	4	0.2718	3.6792	
5	0.2345	4.2649	5	5	0.2214	4.5175	
6	0.1994	5.0143	6	6	0.1916	5.2200	

Tabela 6. Učešće zidova u prenosu sile gredni sistem

Položaj zida u konstrukciji	procentat učešća	Položaj zida u konstrukciji	procentat učešća
Osa E	36.83	Osa 4	32.72
Osa B	20.58	Osa 5	17.8
Osa A	22.74	Osa 6	25.69
ukupno	80.15	ukupno	76.21

Tabela 7. Učešće zidova u prenosu sile bezgredni sistem

Položaj zida u konstrukciji	procentat učešća	Položaj zida u konstrukciji	procentat učešća
Osa E	40.50	Osa 4	35.70
Osa B	11.18	Osa 5	16.56
Osa A	21.86	Osa 6	23.91
Ukupno	73.54	Ukupno	76.17

Sa prenosom preko 65% horizontalne sile u oba pravca konstruktivni sistem je zidni u oba slučaja.

3.3. Faktor ponašanja konstrukcije

Faktor ponašanja konstrukcije (q) predstavlja vrednost kojom se elastični spektar odgovora konstrukcije redukuje na projektni spektar. Ovaj faktor redukcije sila zavisi od tipa konstrukcije, a u Tabeli 8 su prikazni parametri za određivanje njegove vrednosti [1].

$$q = q_0 \times kw \geq 1,5 \quad (1)$$

Tabela 8. Parametri za definisanje faktora ponašanja

Tip konstrukcije	DCM	DCH
Okrvini sistemi, dvojni sistemi, sistemi povezanih zidova	3.0 eu/α1	4.5 eu/α1
Sistemi nezavisnih zidova	3.0	4.0 eu/α1
Torziono fleksibilni sistemi	2.0	3.0
Sistemi obrnutog klata	1.5	2.0
Zgrade neregularne po visini	umanjiti za 20%	
Tip konstr.	eu/α1	kw
Okviri ili ekvivalentni dvojni sistemi okvira	1.1	1.0
višespratni okviri s jednim poljem	1.2	
višespratni s više polja ili ekvivalentni dvojni sistemi okvira	1.3	
sistem samo dva nepovezana zida za svaki pravac	1.0	0.5 ≤ (1 + α ₁) / 3 ≤ 1.0
Zidovi i ekvivalentni dvojni sistemi zidova	1.1	ad - preovlađujući odnos dimenzija zidova
ekvivalentni dvojni sistemi zidova ili spojeni zidovi	1.2	

- Faktor ponašanja za X i Y pravac

$$q_0 = 3,0$$

$$\alpha_0 = 27/6 = 4,5 \quad 0,5 \leq 1 + \alpha_0/3 \leq 1,0$$

$$kw = 1,0$$

$$q = 0,8 * (3,0 * 1,0) = 2,4$$

4. PRORAČUNSKE KONTROLE

4.1. Kontrola napona u stubovima i zidovima

Pri seizmičkom dejstvu neophodno je obezbediti dovoljnu duktilnost objekta (globalno), odnosno dovoljnu duktilnost elemenata za disipaciju energije. Evrokod [1] definiše meru za ograničenjem aksijalne sile u stubovima prema sledećoj formuli:

$$v_d = \frac{N_{ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} \leq 0,65 \text{ za DCM, za stubove} \quad (2)$$

$$v_d = \frac{N_{ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \leq 0,4 \text{ za DCM, za zidove} \quad (3)$$

N_{ed} je aksijalna sila za seizmiku proračunsku situaciju, b je širina poprečnog preseka stuba, d je visina poprečnog preseka stuba, i f_{cd} je proračunska pritisna čvrstoća betona.

U Tabeli 9 su prikazani naponi u stubovima prizemlja za bezgredni sistem, a Tabelama 10, 11, 12 za bezgredni sistem za svaku kategoriju i ubrzanja tla.

Boldovani crveni brojevi predstavljaju prekoračenje napona, a bojom su označeni preseki stubova koji su usvojeni, definisani legendom u Tabeli 11. U Tabelama 13 i 14 je prikazana kontrola napona u zidovima.

Tabela 9. Naponi u stubovima, kategorija tla B - gredni sistem

Kontrola napona u stubovima - prizemlje									presek	$f_{cd}=1.7 \text{ Mpa}$
Kategorija tla B 0.2g										
g	ose	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4	osa 5	osa 6	osa 7		
0.20	A	0.23	0.40	0.35	0.47	0.40	0.29	0.32	45/45cm	2025 cm ²
0.20	B	0.42	0.49	0.44	0.56	0.38	0.28	0.54	55/60cm	3300 cm ²
0.20	C	0.52	0.60	0.53	0.58	0.59	0.65	0.55	60/60cm	3600 cm ²
0.20	D	0.63	0.69	0.64	0.43	0.43	0.63	0.58		
0.20	E	0.35	0.58	0.49	0.23	0.34	0.49	0.32		

Tabela 10. Naponi u stubovima, kategorije tla A i B

Kontrola napona u stubovima - prizemlje									Kontrola napona u stubovima - prizemlje								
		Kategorija tla A 0.05-0.2g									Kategorija tla B 0.05-0.2g						
g	ose	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4	osa 5	osa 6	osa 7	g	ose	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4	osa 5	osa 6	osa 7
0.05	A	0.19	0.28	0.25	0.32	0.32	0.26	0.24	0.05	A	0.19	0.29	0.26	0.33	0.37	0.30	0.25
0.10		0.20	0.29	0.26	0.34	0.42	0.34	0.26	0.10		0.21	0.30	0.27	0.35	0.52	0.42	0.28
0.15		0.21	0.30	0.27	0.35	0.52	0.42	0.28	0.15		0.22	0.31	0.28	0.37	0.67	0.53	0.31
0.20		0.21	0.31	0.27	0.37	0.62	0.50	0.30	0.20		0.23	0.32	0.29	0.39	0.82	0.65	0.33
0.05	B	0.30	0.47	0.41	0.49	0.38	0.31	0.39	0.05	B	0.30	0.47	0.41	0.50	0.41	0.34	0.39
0.10		0.31	0.47	0.42	0.51	0.44	0.36	0.40	0.10		0.31	0.48	0.42	0.52	0.50	0.41	0.42
0.15		0.31	0.48	0.42	0.52	0.50	0.41	0.42	0.15		0.32	0.48	0.42	0.54	0.59	0.49	0.45
0.20		0.32	0.48	0.42	0.53	0.56	0.46	0.44	0.20		0.33	0.49	0.43	0.55	0.68	0.56	0.48
0.05	C	0.39	0.53	0.46	0.50	0.50	0.58	0.39	0.05	C	0.39	0.53	0.46	0.50	0.50	0.58	0.40
0.10		0.25	0.53	0.46	0.51	0.50	0.59	0.40	0.10		0.41	0.53	0.47	0.52	0.50	0.60	0.41
0.15		0.41	0.53	0.47	0.52	0.50	0.60	0.41	0.15		0.44	0.54	0.47	0.53	0.50	0.62	0.42
0.20		0.43	0.53	0.47	0.52	0.50	0.61	0.41	0.20		0.46	0.54	0.48	0.54	0.50	0.63	0.43
0.05	D	0.45	0.62	0.57	0.40	0.39	0.58	0.42	0.05	D	0.46	0.63	0.57	0.44	0.41	0.59	0.42
0.10		0.46	0.63	0.58	0.47	0.44	0.60	0.42	0.10		0.47	0.63	0.59	0.53	0.48	0.61	0.43
0.15		0.47	0.64	0.59	0.54	0.48	0.61	0.43	0.15		0.49	0.64	0.61	0.63	0.55	0.63	0.44
0.20		0.48	0.64	0.61	0.60	0.53	0.63	0.44	0.20		0.50	0.65	0.64	0.73	0.62	0.66	0.45
0.05	E	0.27	0.41	0.35	0.25	0.26	0.37	0.25	0.05	E	0.27	0.42	0.36	0.29	0.31	0.37	0.26
0.10		0.42	0.42	0.36	0.33	0.36	0.38	0.26	0.10		0.29	0.43	0.38	0.41	0.46	0.39	0.27
0.15		0.29	0.43	0.38	0.41	0.46	0.39	0.27	0.15		0.30	0.45	0.39	0.53	0.61	0.41	0.28
0.20		0.30	0.44	0.39	0.49	0.56	0.41	0.28	0.20		0.31	0.46	0.41	0.55	0.65	0.43	0.29

Tabela 11. Naponi u stubovima, kategorije tla C i D

Kontrola napona u stubovima - prizemlje									Kontrola napona u stubovima - prizemlje								
Kategorija tla C 0.05-0.2g									Kategorija tla D 0.05-0.2g								
g	ose	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4	osa 5	osa 6	osa 7	g	ose	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4	osa 5	osa 6	osa 7
0.05	A	0.20	0.29	0.26	0.33	0.40	0.32	0.26	0.05	A	0.20	0.30	0.27	0.35	0.49	0.39	0.27
0.10		0.21	0.30	0.27	0.36	0.57	0.45	0.29	0.10	A	0.22	0.32	0.28	0.38	0.75	0.60	0.32
0.15		0.22	0.32	0.28	0.38	0.74	0.58	0.32	0.15	A	0.25	0.34	0.30	0.42	1.01	0.81	0.37
0.20		0.26	0.33	0.29	0.40	0.91	0.72	0.35	0.20	A	0.27	0.36	0.32	0.45	1.28	1.01	0.41
0.05	B	0.30	0.47	0.41	0.50	0.42	0.35	0.40	0.05	B	0.31	0.48	0.42	0.51	0.48	0.40	0.42
0.10		0.32	0.48	0.42	0.52	0.53	0.43	0.43	0.10	B	0.33	0.49	0.42	0.55	0.64	0.53	0.47
0.15		0.33	0.49	0.42	0.54	0.63	0.52	0.46	0.15	B	0.35	0.50	0.43	0.58	0.80	0.66	0.51
0.20		0.34	0.50	0.43	0.57	0.73	0.60	0.49	0.20	B	0.37	0.51	0.44	0.61	0.96	0.79	0.56
0.05	C	0.40	0.53	0.46	0.51	0.50	0.59	0.40	0.05	C	0.41	0.53	0.46	0.51	0.50	0.60	0.40
0.10		0.42	0.53	0.47	0.52	0.50	0.61	0.41	0.10	C	0.45	0.54	0.47	0.54	0.50	0.63	0.42
0.15		0.44	0.54	0.47	0.53	0.50	0.62	0.42	0.15	C	0.49	0.54	0.48	0.56	0.51	0.66	0.44
0.20		0.47	0.54	0.48	0.55	0.51	0.64	0.43	0.20	C	0.52	0.55	0.49	0.58	0.51	0.69	0.46
0.05	D	0.46	0.63	0.58	0.45	0.42	0.59	0.42	0.05	D	0.47	0.63	0.59	0.51	0.46	0.61	0.43
0.10		0.48	0.64	0.60	0.70	0.50	0.62	0.43	0.10	D	0.49	0.65	0.63	0.68	0.59	0.65	0.45
0.15		0.49	0.65	0.62	0.67	0.58	0.64	0.45	0.15	D	0.52	0.67	0.66	0.85	0.71	0.69	0.46
0.20		0.51	0.66	0.65	0.78	0.66	0.67	0.46	0.20	D	0.55	0.68	0.70	1.02	0.83	0.73	0.48
0.05	E	0.27	0.42	0.36	0.30	0.33	0.38	0.26	0.05	E	0.28	0.43	0.37	0.38	0.43	0.39	0.27
0.10		0.29	0.44	0.38	0.44	0.50	0.40	0.27	0.10	E	0.31	0.46	0.40	0.60	0.69	0.42	0.29
0.15		0.30	0.45	0.40	0.58	0.67	0.42	0.28	0.15	E	0.33	0.48	0.43	0.81	0.95	0.45	0.31
0.20		0.32	0.47	0.42	0.72	0.84	0.44	0.30	0.20	E	0.36	0.51	0.47	1.03	1.21	0.48	0.33

Tabela 12. Naponi u stubovima, kategorija tla E

Kontrola napona u stubovima - prizemlje									presek	$f_{ctd}=1.7 \text{ Mpa}$
Kategorija tla E 0.05-0.2g										
g	ose	osa 1	osa 2	osa 3	osa 4	osa 5	osa 6	osa 7		
0.05	A	0.20	0.29	0.26	0.33	0.40	0.32	0.26	50/50cm	2500 cm ²
0.10		0.21	0.30	0.27	0.36	0.57	0.45	0.29	55/60cm	3300 cm ²
0.15		0.22	0.32	0.28	0.38	0.74	0.59	0.32	60/60cm	3600 cm ²
0.20	B	0.24	0.33	0.29	0.40	0.92	0.73	0.35		
0.05		0.30	0.47	0.41	0.50	0.43	0.35	0.40		
0.10		0.32	0.48	0.42	0.52	0.53	0.44	0.43		
0.15	C	0.33	0.49	0.42	0.55	0.64	0.52	0.46		
0.20		0.34	0.50	0.43	0.57	0.74	0.61	0.50		
0.05		0.40	0.53	0.46	0.51	0.50	0.59	0.40		
0.10	D	0.42	0.53	0.47	0.52	0.50	0.61	0.41		
0.15		0.45	0.54	0.47	0.53	0.50	0.63	0.42		
0.20		0.47	0.54	0.48	0.55	0.51	0.64	0.43		
0.05	E	0.46	0.63	0.58	0.45	0.42	0.59	0.42		
0.10		0.48	0.64	0.60	0.70	0.50	0.62	0.43		
0.15		0.49	0.65	0.62	0.68	0.58	0.65	0.45		
0.20		0.51	0.66	0.65	0.79	0.66	0.67	0.46		
0.05		0.27	0.42	0.36	0.31	0.34	0.38	0.26		
0.10		0.29	0.44	0.38	0.45	0.51	0.40	0.27		
0.15		0.31	0.45	0.40	0.59	0.68	0.42	0.29		
0.20		0.32	0.47	0.43	0.73	0.88	0.44	0.30		

Tabela 13. Sile i normalni naponi u seizmičkim zidovima

Kategorija tla

Rezultati su prikazani u Tabelama 15, i 16. Crvenom bojom naglašena su nedozvoljena pomeranja.

Tabela 15. *Međuspratna pomeranja – bezgredni sistem*

Kategorija tla	g	I sprat +4.50	II sprat +9.0	III sprat +13.5	IV sprat +18.0	V sprat +22.50	Krov +27.0
		dr (0°)	dr (90°)	dr (0°)	dr (90°)	dr (0°)	dr (90°)
A	0.05	3	3	4	3	3	4
	0.1	5	7	9	5	7	9
	0.2	8	10	13	8	10	13
B	0.05	4	5	6	4	5	6
	0.1	8	10	13	8	10	13
	0.2	11	15	19	12	15	20
C	0.05	4	6	7	5	6	8
	0.1	9	12	15	9	12	15
	0.2	13	18	22	14	18	23
D	0.05	8	9	11	7	9	12
	0.1	13	18	23	14	19	24
	0.2	20	28	34	22	28	35
E	0.05	4	6	7	5	6	8
	0.1	9	12	15	9	12	15
	0.2	13	18	22	14	18	23

Tabela 16. *Međuspratna pomeranja – gredni sistem*

Nivo	Z[m]	h[m]	dx(mm)	dy(mm)	dr(mm)	dr(mm)
Krov	27.00	4.50	17.71	19.96	26.68	45.00
V sprat	22.50	4.50	19.96	16.35	25.80	45.00
IV sprat	18.00	4.50	19.07	22.60	29.57	45.00
III sprat	13.50	4.50	18.25	22.25	28.77	45.00
II sprat	9.00	4.50	17.00	21.71	27.57	45.00
I sprat	4.50	4.50	15.37	21.31	26.28	45.00
Prizemlje(+0.00)	0.00	4.63	4.18	10.48	11.28	46.30

4.3. Kontrola probijanja ploča

Kontrolom ploča na probijanje ustanovljeno je da sa usvojenim kapitelima zahtevi ispunjavaju, sa pojedinačnim slučajevima osiguranja dodatnom armaturom, za sve kategorije osim za kategoriju tla D, gde je napon smicanja prekoračen. U Tabeli 17 prikazan je proračun [2,3] za ovu kategoriju za 8 tačaka u konstrukciji.

Tabela 17. *Kontrola probijanja ploča, kategorija tla D*

Kontrola preseka uz ivicu stuba									
presek	v_{ed} [MPa]	d_{gl} [m]	h_s [m]	$f_{t,k}$ [MPa]	f_{ctd} [MPa]	v	$V_{rd,max}$ [MPa]	uslov $v_{ed} \leq V_{rd,max}$	
Tačka 1	1.54	0.5	0.45	30	17	0.53	3.59	da	
Tačka 2	2.96							da	
Tačka 3	0.96							da	
Tačka 4	2.26							da	
Tačka 5	3.97	0.2	0.15	30	17	0.53	3.59	ne	
Tačka 6	2.68							da	
Tačka 7	1.28							da	
Tačka 8	0.78							da	
Kontrola kritičnog preseka 2xhs									
presek	v_{ed} [MPa]	d_{gl} [m]	h_s [m]	$f_{t,k}$ [MPa]	f_{ctd} [MPa]	v	$V_{rd,max}$ [MPa]	uslov $v_{ed} \leq V_{rd,max}$	
Tačka 1	0.65	0.3	0.25	30	17	0.53	3.59	da	
Tačka 2	1.18							da	
Tačka 3	0.51							da	
Tačka 4	0.8							da	
Tačka 5	1.14	0.2	0.15	30	17	0.53	3.59	da	
Tačka 6	1.07							da	
Tačka 7	1.13							da	
Tačka 8	0.91							da	
Potrebna armatura za obezbeđenje od probijanja									
presek	v_{rdc} [MPa]	ρ [%]	C_{rdc} [m]	K1	K_{vmin} [MPa]	v_{min}	σ_{rcp} [MPa]	uslov $v_{ed} \leq v_{rc}$	ASw _{pot}
Tačka 1	0.7	1.0	0.12	0.1	0.035	0.5	-0.06	da	ne
Tačka 2	0.52	2.0					-3.70	ne	/
Tačka 3	0.45	2.0					-4.43	da	6.04 cm2
Tačka 4	0.80	1.4					0.06	da	ne
Tačka 5	0.74	2.0					-1.45	da	/
Tačka 6	1.04	2.0					-1.50	da	9.17cm2
Tačka 7	1.04	2.0					0.12	da	6.78cm2
Tačka 8	0.91	1.8					0.05	da	ne

4.4. Kontrola ugiba i prslina

Ovim radom nije detaljno razmatrano granično stanje upotrebljivosti. Ugibi ploča uglavnom su istih vrednosti kod svih kategorija, a najveći se pojavljuju na ivičnim delovima kapitela. Proračunom je dobijen najveći ugib od 1,96 mm za najveći raspon od 720 cm i očekivano je manji od osnovnog limita od $L/250=28,8$ mm do $L/500=14,4$ mm. Najveće vrednosti prslina se javljaju u zonama oko kapitela i iznose 0,21 mm, pa kako je ovaj objekat klase izloženosti X0 za sve elemente konstrukcije, kontrola prslina je zadovoljena za granicu 0,4 mm [2,3].

5. ZAKLJUČAK

Zadatak rada bio je da se kroz proračunske kontrole standarda prikaže odgovor konstrukcije, kada se radi o konstrukciji čije se tavanice oslanjaju na grede, odnosno kada se tavanice oslanjaju direktno na stubove. Evrokodom 8 [1] sistemi ploča direktno oslonjenih na stubove se dopuštaju u slučaju da seizmički zidovi prihvate najveći deo horizontalnog opterećenja, tj. 85% u odnosu na stubove.

Ovaj odnos kod konstrukcije sa gredama iznosi po pravcima, x-80,15%, y-76,21%, a kod bezgrednog sistema iznosi x-73,54%, y-76,17%. Prenos opterećenja se nije značajno promenio u odnosu na gredni sistem, ali ostaje ispod granice koja se ograničava standardom. U nastavku su vršene kontrole, da li elementi zadovoljavaju ostale zahteve sa ovakvom raspodelom prenosa sile. Kako su dimenzije stubova povećane, konstrukcija bez greda postaje neznatno kruća.

Kontrolom napona pritiska u stubovima i zidovima primećuje se drugačija preraspodela kod bezgrednog i grednog sistema. Naponi su manji u stubovima i zidovima bezgrednog sistema, ali se u ivičnim stubovima koji su sastavni deo zidova naponi povećavaju. Ovo je posledica ukidanja greda. Za različite kategorije tla u bezgrednom sistemu najveće vrednosti napona dobijene su za kategoriju tla D zatim C, pa redom za E, B i A. Primećena se prekoračenja napona u pojedinim stubovima kategorije tla D, C i E i projektnog ubrzanja od 0,15 i 0,2 g.

Međuspratna pomeranja su povoljnija za konstrukciju sa sistemom bez greda. Prekoračenja dozvoljenih pomeranja uočena su samo za kategoriju tla D za nivo seizmičkog ulaza od 0,2 g.

Pri kontroli probijanja, promenom kategorije i projektnog ubrzanja uslovi su zadovoljeni sa pojedinačnim osiguranjem dodatnom armaturom za smicanje, kod svih kategorija osim kategorije D, gde postoji prekoračenje dozvoljenih napona smicanja.

Kod kontrole ugiba i prslina nisu primećena prekoračenja dozvoljenih granica.

Iako je prenos horizontalnog opterećenja zidova manji od 85%, povećanjem dimenzija elemenata i klase betona, kao i rasporedom seizmičkih zidova, moguće je dovesti elemente konstrukcije u zahtevane limite i postići njeno duktilno ponašanje za sve kategorije ubrzanja i tla.

6. LITERATURA

- [1] EN 1998-1:2004 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija“, Beograd, novembar 2009
- [2] EN 1992-1-1:2004 – Evrokod 2 „Proračun betonskih konstrukcija“, Beograd, februar 2006
- [3] Zoran Brujić: „Betonske konstrukcije u zgradarstvu (prema Evrokodu)“

Kratka biografija:



Dragan Vasić rođen je u Peći 1989. godine. Diplomirao je iz predmeta Betonske konstrukcije 2020. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Betonske konstrukcije odbranio je u junu 2022. godine.
Kontakt: vaske89pe@gmail.com

ANALIZA VIBRACIJA MOSTOVA USLED DINAMIČKOG PEŠAČKOG OPTEREĆENJA

VIBRATION ANALYSIS OF BRIDGES UNDER DYNAMIC PEDESTRIAN LOAD

Filip Jakovljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je dat grafički prikaz i analiza modela opterećenja prema različitim autorima, preporukama i standardima za slučajeve hodanja, trčanja i skakanja. Prikazani su i analizirani kriterijumi komfora prema internacionalnim standardima i preporukama. Izvršena je analiza usvojenog rešenja pešačkog mosta po pitanju graničnog stanja nosivosti i upotrebljivosti-ugibi. Sprovedena je kontrola vibracija prema različitim autorima, preporukama i standardima i izvršena analiza dobijenih rezultata.

Ključne reči: vibracije, pešačko opterećenje, ubrzanja, svojstvene frekvencije

Abstract – The paper presents a graphical presentation and analysis of load models according to different authors, recommendations and standards for the cases of walking, running and jumping. Comfort criteria according to international standards and recommendations are presented and analyzed. The analysis of the adopted solution of the pedestrian bridge in terms of load capacity limit state and usability-deflection was performed. Vibration control was conducted according to various authors, recommendations and standards, and the analysis of the obtained results was performed.

Keywords: vibrations, pedestrian load, acceleration, natural frequency

1. UVOD

Težnjom ka što vitkijim i elegantnijim konstrukcijama kao i razvojem materijala sa velikom nosivosti, u poslednjih nekoliko godina grade se pešački mostovi sa malim dimenzijama poprečnog preseka i velikih raspona. Time se dobijaju konstrukcije male mase i krutosti što za posledicu ima smanjenje svojstvenih frekvencija i faktora prigušenja kao i veću osetljivost na dinamička opterećenja.

Kao posledica toga dobijamo značajnije vertikalne i horizontalne vibracije od pešačkog opterećenja. Ljudsko telo je posebno osetljivo na vibracije niskih frekvencija do 10Hz, a s obzirom da se prirodne frekvencije pešačkih mostova uglavnom nalaze u opsegu do 10Hz, pobuđivanje mosta može imati veoma negativne efekte na pešake.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dušan Kovačević, red. prof.

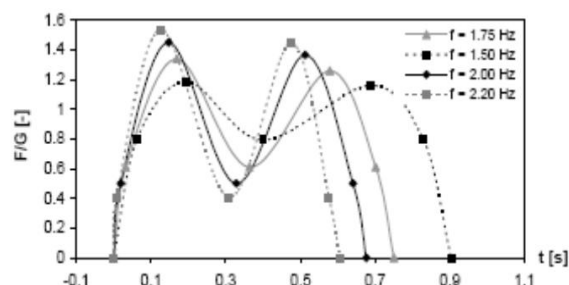
Imajući to u vidu, neophodna je provera graničnog stanja upotrebljivosti po pitanju vibracija kod pešačkih mostova.

2. DINAMIČKO DEJSTVO PEŠAKA PRILIKOM KRETANJA

Dinamičko dejstvo pešaka na mostove se može podeliti u tri osnovne grupe, a to je dejstvo usled hodanja, trčanja i skakanja. Svaka od ovih grupa ima drugačiju krivu promene kroz vreme. Dejstvo pešaka je periodično čiji intenzitet najviše zavisi od frekvencije kretanja pešaka i njegove težine.

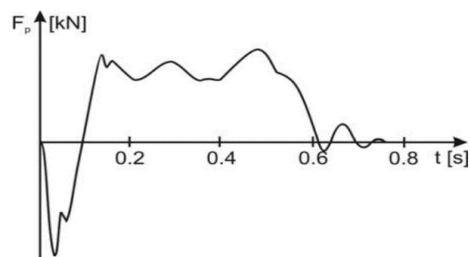
2.1. Dinamičko dejstvo pešaka prilikom hodanja

Dinamičko dejstvo pešaka prilikom hodanja se može predstaviti pomoću tri komponente sile: vertikalna i horizontalna koja se sastoji od lateralne i longitudinalne komponente [4]. Ispod je prikazana promena intenziteta vertikalne komponente sile za jedno stopalo pri različitim frekvencijama (Slika 1).



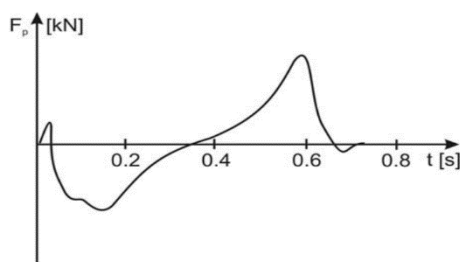
Slika 1. Promena intenziteta vertikalne komponente sile prilikom hodanja pri različitim frekvencijama [4]

Promena intenziteta lateralne komponente sile kroz vreme je prikazana na slici 2.



Slika 2. Promena intenziteta lateralne komponente sile prilikom hodanja [3]

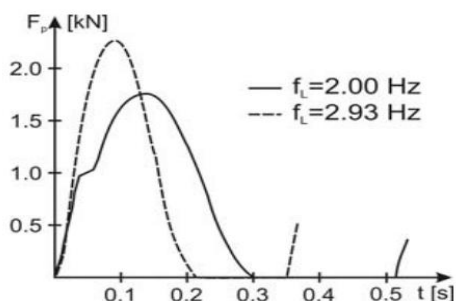
Prikaz promene intenziteta longitudinalne komponente sile kroz vreme dat je na slici 3.



Slika 3. Promena intenziteta longitudinalne komponente sile prilikom hodanja [3]

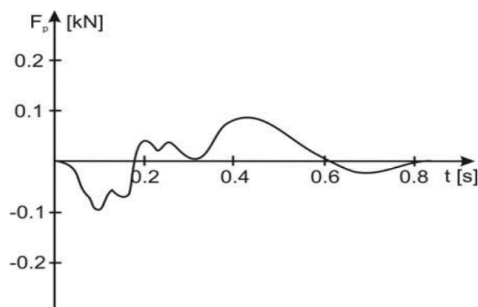
2.2. Dinamičko dejstvo pešaka prilikom trčanja

Dinamičko dejstvo pešaka prilikom trčanja se takođe može predstaviti pomoću tri komponente sile: vertikalna i horizontalna koja se sastoji od lateralne i longitudinalne komponente. Na narednoj slici dat je prikaz promene intenziteta vertikalne komponente sile tokom vremena, za jedno stopalo pri različitim frekvencijama (Slika 4).



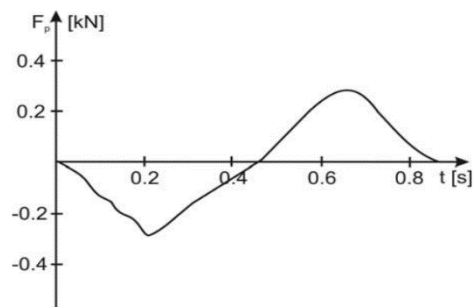
Slika 4. Promena intenziteta vertikalne komponente sile prilikom trčanja pri različitim frekvencijama [4]

Promena intenziteta lateralne komponente sile kroz vreme prikazana je na slici 5.



Slika 5. Promena intenziteta lateralne komponente sile prilikom trčanja [4]

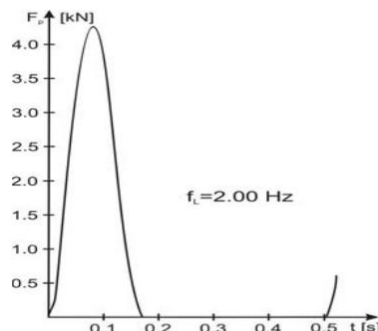
Promena intenziteta longitudinalne komponente sile kroz vreme prikazano je na slici 6.



Slika 6. Promena intenziteta longitudinalne komponente sile prilikom trčanja [4]

2.3. Dinamičko dejstvo pešaka prilikom skakanja

Dinamičko dejstvo pešaka prilikom skakanja se razlikuje u odnosu na dejstvo prilikom hodanja i trčanja pre svega po tome što sila nema horizontalne komponente, već samo vertikalnu. Na narednoj slici dat je prikaz promene intenziteta vertikalne sile tokom vremena (Slika 7).



Slika 7. Promena intenziteta vertikalne sile prilikom skakanja [5]

3. MODELI OPTEREĆENJA PEŠAKA PRILIKOM KRETANJA – PO AUTORIMA

Sile koje su izmerene eksperimentalnim putem je neophodno adekvatno analitički modelirati da bi se mogle primeniti u proračunu vibracija pešačkih mostova. Neharmonijska periodično promenjiva opterećenja se mogu opisati kombinacijom osnovnih trigonometrijskih funkcija [1]. Sve tri komponente se definišu kao sile čiji se intenzitet periodično menja kroz vreme. Opterećenje od kretanja pešaka se može podeliti na različite sinusoidalne oscilacije primenom Fourier-ove transformacije [2]. Izrazi pomoću kojih se definiše vertikalna, lateralna i longitudinalna komponenta sile pešačkog opterećenja, primenom Fourier-ove transformacije, dati su izrazima (1), (2) i (3).

$$F_v(t) = F_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_{i,v} \cdot F_0 \cdot \sin(2\pi \cdot i \cdot f_s \cdot t - \varphi_i) \quad (1)$$

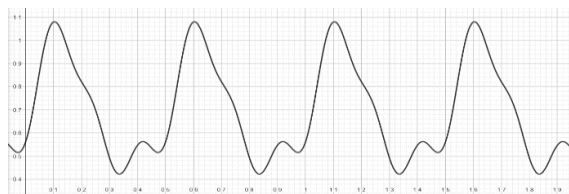
$$F_{lat}(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_{i,lat} \cdot F_0 \cdot \sin\left(2\pi \cdot i \cdot \frac{f_s}{2} \cdot t - \varphi_i\right) \quad (2)$$

$$F_{long}(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_{i,long} \cdot F_0 \cdot \sin(2\pi \cdot i \cdot f_s \cdot t - \varphi_i) \quad (3)$$

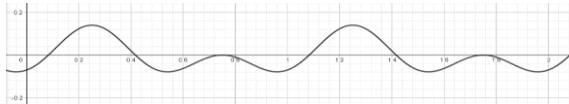
Gde je F_0 statička sila, n je broj razmatranih harmonika, $\alpha_{i,v}$, $\alpha_{i,lat}$, $\alpha_{i,long}$ su Furierovi koeficijenti, f_s je frekvencija kretanja, t je vreme a φ_i je fazni ugao i -tog harmonika. Određeni broj autora se bavilo modeliranjem pešačkog opterećenja primenom Fourier-ove transformacije, pri čemu su različiti autori dali različite modele opterećenja. Svaki od autora je dao svoje dinamičke faktore, fazne uglove, kao i broj harmonika koji se uzimaju u obzir [3].

3.1. Modeli opterećenja prilikom hodanja

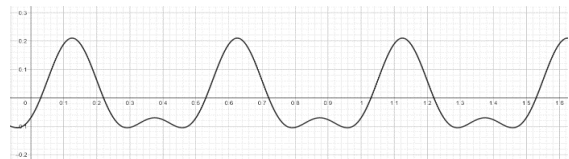
Opterećenjem usled hodanja su se bavili Blanchard, Bachmann, Schulze, Rainer, Kerr, Young, Charles i Hoorpah i dali svoje modele opterećenja. Model opterećenja prema Bachmann-u ima sve tri komponente sile koje su grafički prikazane na slikama 8, 9 i 10.



Slika 8. Promena intenziteta vertikalne komponente sile prilikom hodanja - Bachmann



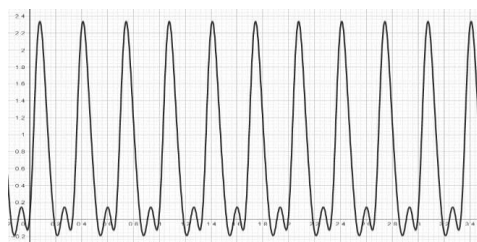
Slika 9. Promena intenziteta lateralne komponente sile prilikom hodanja - Bachmann



Slika 10. Promena intenziteta longitudinalne komponente sile prilikom hodanja - Bachmann

3.2. Modeli opterećenja prilikom trčanja

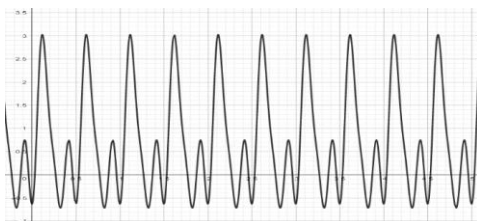
Opterećenjem usled trčanja su se bavili Bachmann i Rainer. Model opterećenja prema Bachmann-u predstavlja vertikalnu silu koja je grafički prikazana na slici 11.



Slika 11. Promena intenziteta vertikalne sile prilikom trčanja - Bachmann

3.3. Modeli opterećenja prilikom skakanja

Opterećenjem usled skakanja su se takođe bavili Bachmann i Rainer. Model opterećenja prema Bachmann-u u slučaju normalnog skakanja predstavlja vertikalnu silu koja je prikazana na slici 12.



Slika 12. Promena intenziteta vertikalne sile prilikom normalnog skakanja - Bachmann

4. MODEL OPTEREĆENJA PEŠAKA PRILIKOM KRETANJA – PO PREPORUKAMA I STANDARDIMA

S obzirom da je pešačko opterećenje veoma kompleksno, preporuke i standardi daju pojednostavljene modele opterećenja. Analizirani su Eurocode 1, Britanski nacionalni aneks, Francuske preporuke i ISO preporuke.

5. KRITERIJUMI KOMFORA PREMA INTERNACIONALNIM STANDARDIMA I PREPORUKAMA

Kriterijumi komfora predstavljaju granične vrednosti za svojstvene frekvencije i granične vrednosti za ubrzanja.

5.1. Granične vrednosti za svojstvene frekvencije

U tabeli 1 dati su opsezi graničnih vrednosti svojstvenih frekvencija po različitim propisima.

Tabela 1. Granične vrednosti svojstvenih frekvencija po različitim propisima [4]

Propisi	Granične vrednosti svojstvenih frekvencija [Hz]	
	Vertikalne	Horizontalne
Eurocode 2 (EN 1992-2)	1.6 – 2.4	0.8-1.2
BS 5400-2 (Velika Britanija)	< 5	
ISO/CD 10137	1.7 – 2.3	
Canadian Highway Bridge Design Code CAN/CSA S6-06	< 4	
Eurocode 5 (EN1995-2)	< 5	< 2.5
Appendix 2 of Eurocode 0	< 5	
SIA 261 (Švajcarska)	1.6 – 4.5	< 1.3 – lateralni pravac < 2.5 – longitudinalni pravac
Austroroads (Australija)	1.5 – 3	
American Guide Spec.	< 3	
Japanese Footbridge Design Code	1.5 – 2.3	
DIN-fachbericht 102	1.6 – 2.4, 3.5 – 4.5	
HIVOSS	1.25 – 2.3	0.5 – 1.2 – lateralni pravac 1.25 – 2.3 – longitudinalni pravac

Ukoliko svojstvene frekvencije mosta nisu u tom opsegu, smatra se da konstrukcija nije u zoni rizika za pojavu rezonancije usled pešačkog opterećenja i za njih nije neophodna dalja dinamička analiza.

5.2. Granične vrednosti za ubrzanja

U tabeli 2 date su granične vrednosti vertikalnih ubrzanja po različitim propisima.

Tabela 2. Granične vrednosti za vertikalno ubrzanje po različitim propisima [4]

Propisi	Granične vrednosti vertikalnih ubrzanja [m/s ²]	
	$\min \left(0.50 \sqrt{f_1}, 0.70 \right)$	- za $f=1-3$ Hz - za $f=3-5$ Hz potrebna provera u zavisnosti od slučaja - za $f=5$ Hz nije neophodna provera
Eurocode 1		
BS 5400-2	$0.5 \cdot \sqrt{f_1}$	f_1 – osnovna prirodna frekvencija mosta
ISO 2631	$1.9 \cdot \sqrt{f_1}$	f_1 – osnovna prirodna frekvencija mosta
Eurocode 5 (EN 1995-2)	0.7	
Japanese Footbridge Design Code (1979)	1.0	
DIN-Fachbericht 102	$0.5 \cdot \sqrt{f_1}$	f_1 – osnovna prirodna frekvencija neopterećenog mosta
VDI 2057	$0.6 \cdot \sqrt{f_1}$	f_1 – osnovna prirodna frekvencija mosta
AISC Guide 11	0.5	
Ontario Bridge Code ONT83	$0.25 \cdot f_1^{0.75}$	f_1 – osnovna prirodna frekvencija mosta
SBA	0.39	
Bachmann	0.5-1.0	

Ukoliko su ubrzanja, nakon dinamičke analize, u gore prikazanim granicama kriterijum komfora pešaka je zadovoljen.

6. OPIS RAZMATRANE KONSTRUKCIJE PEŠAČKOG MOSTA

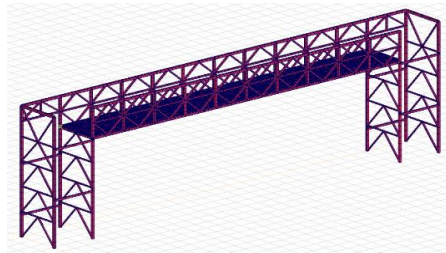
Razmatrana konstrukcija je pešački most koji se nalazi na železničkoj stanici u Loznici. Izgled pešačkog mosta je prikazan na slici 13.



Slika 13. Izgled razmatranog pešačkog mosta

7. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE

Konstrukcija pešačkog mosta je modelirana i analizirana pomoću softvera AxisVM [5]. Na slici 14. dat je renderovan model pešačkog mosta.



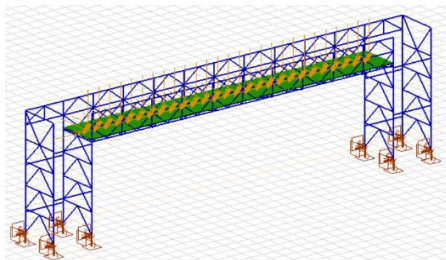
Slika 14. Model pešačkog mosta u softveru AxisVM

8. KONTROLA GRANIČNOG STANJA NOSIVOSTI I GRANIČNOG STANJA UPOTREBLJIVOSTI – UGIBI

Nakon analize je utvrđeno da konstrukcija ispunjava uslove po pitanju graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja upotrebljivosti-ugibi. Takođe je utvrđeno da su svi elementi konstrukcije u velikoj meri predimenzionisani.

9. KONTROLA VIBRACIJA

Analizom svojstvenih frekvencija mosta je utvrđeno da je ispunjen uslov po pitanju svojstvenih frekvencija prema propisima, ali je dinamička analiza ipak sprovedena. Kontrola vibracija je izvršena prema Banchard-u, Bachmann-u, Schulze-u, Rainer-u, Kerr-u, Young-u, Charles-u i Hoorpah-u, Francuskim preporukama, ISO preporukama, Eurocode 1 i Britanskom aneksu. Prostorni prikaz sila na konstrukciji prema Bachmann-u u slučaju hodanja dat je na slici 15.



Slika 15. Prikaz sila na konstrukciji – Bachmann hodanje

U tabeli 3 dat je uporedni prikaz dobijenih rezultata prema svim analiziranim autorima, standardima i preporukama za slučaj hodanja jednog pešaka.

Tabela 3. Vertikalna, lateralna i longitudinalna ubrzanja u slučaju hodanja jednog pešaka izraženih u m/s^2

	Konstrukcija poda			Poprečni nosači			Glavni nosači		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
Blanchard	2,155	0,064	0,079	0,799	0,062	0,113	0,163	0,238	0,027
Bachmann	1,604	0,045	0,114	0,432	0,033	0,171	0,074	0,067	0,042
Schulze	1,322	0,041	0,089	0,393	0,031	0,133	0,101	0,060	0,033
Rainer	1,875	0,049	0,107	0,452	0,033	0,172	0,050	0,073	0,010
Kerr	1,731	0,046	0,098	0,444	0,032	0,159	0,065	0,069	0,009
Young	1,740	0,046	0,099	0,441	0,032	0,160	0,055	0,069	0,009
Charles i Hoorpah	1,969	0,052	0,132	0,471	0,035	0,202	0,053	0,076	0,035
Francuske preporuke	1,610	0,045	0,104	0,432	0,032	0,160	0,074	0,064	0,033
ISO preporuke	1,417	0,039	0,082	0,396	0,028	0,132	0,077	0,064	0,011
Eurocode 1	0,301	0,067	0,015	0,304	0,065	0,019	0,304	0,133	0,046
Britanski aneks	0,105	0,004	0,005	0,046	0,004	0,008	0,030	0,006	0,005

10. ZAKLJUČAK

Analizom vibracija prema velikom broju modela opterećenja, prema različitim autorima i preporukama, kao i analizom kriterijuma komfora izvedeno je nekoliko važnih zaključaka. Bez obzira što je konstrukcija mosta u velikoj meri predimenzionisana po pitanju graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja upotrebljivosti-ugibi, nisu ispunjeni kriterijumi komfora pešaka po pitanju vibracija. Takođe, bez obzira što pojedini autori daju veće maksimume sila da bi bili na strani sigurnosti, ne dobijaju se veća ubrzanja u pređenju sa manjim maksimumima sila drugih autora zbog drugačije promene funkcije sile kao i drugačijih amplituda.

Prema određenim autorima i preporukama, dobijaju se veća ubrzanja u slučaju kretanja jednog pešaka nego u slučaju kretanja kolone pešaka jer dolazi do amortizacije ubrzanja. Zbog toga je neophodno sprovođenje analize kretanja i jednog pešaka i kolone pešaka jer analizom kretanja samo kolone pešaka ne znači da smo na strani sigurnosti. Utvrđeno je da su razlike u ubrzanjima koja se dobijaju prilikom analize vibracija po različitim autorima, kao po pojednostavljenim metodama po preporukama, velike. Takođe, longitudinalna komponenta sile se ne može zanemariti jer u slučaju razmatranog mosta izaziva ubrzanja u longitudinalnom pravcu veća od dozvoljenih. Utvrđeno je i da bez obzira što svojstvene frekvencije mosta nisu u graničnom opsegu, dinamička analiza se mora sprovesti jer se dobijaju ubrzanja koja su veća od dozvoljenih.

Ukoliko kriterijumi komfora pešaka nisu ispunjeni, neophodna je korekcija konstrukcije mosta u cilju povećanja svojstvenih frekvencija oscilovanja i smanjenja ubrzanja u vertikalnom, lateralnom i longitudinalnom pravcu.

11. LITERATURA

- [1] Dušan Kovačević: *MKE modeliranje u analizi konstrukcija*, Belgrade: Građevinska knjiga
- [2] Bachmann H., Ammann W.: *Vibration Problems in Structures. Practical Guidelines*, 1995.
- [3] Živanović, S., Pavić, A. and Reynolds, P. : *Vibration serviceability of footbridges under human-induced excitation: a literature review*. Journal of Sound and Vibration, Vol. 279, 2005.
- [4] mr Marija Spasojević Šurdilović, dipl.inž.građ, *Analiza graničnog stanja upotrebljivosti u pogledu vibracija indukovanih pešacima, doktorska disertacija*
- [5] AxisVM: *Footfall analysis guide*, InterCAD, Budapest

Kratka biografija:



Filip Jakovljević, rođen je u Bačkoj Topoli, Republika Srbija, 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Konstrukcije odbranio je 2022.god.
kontakt: filip.jakovljevic29@yahoo.com

УПРАВЉАЊЕ ПРОЈЕКТИМА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ У ЗАВИСНОСТИ ОД ТИПА УГОВОРА**CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT DEPENDING ON THE TYPE OF CONTRACT**

Глигорије Вујачић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – У раду је описан принцип управљања пројектима у грађевинарству где су обухваћене почетне фазе сваког пројекта, улога учесника у пројекту као и само уговарање пројекта које није јединствено у грађевинарству а од ког даље зависи начин управљања и, свакако, реализација пројекта. Анализирани су принципи управљања пројектима који су уговорени по јединици мере као и они пројекти који су уговорени са одредбом „кључ у руке“, дати су конкретни примери за оба случаја и изведени су закључци.

Кључне речи: управљање пројектима, уговарање, наручилац (инвеститор), одговорни извођач

Abstract – This work describes the principle of project management in construction, which includes the initial stages of each project, the role of project participants and contracting projects that are not unique in construction and on which further depends the method of management and, of course, project implementation. The principles of project management contracted per unit of measure as well as those projects contracted with the "turnkey" provision were analyzed, concrete examples of cases were given and a conclusion was drawn.

Keywords: project management, contracting, client (investor), responsible contractor

1. УВОД

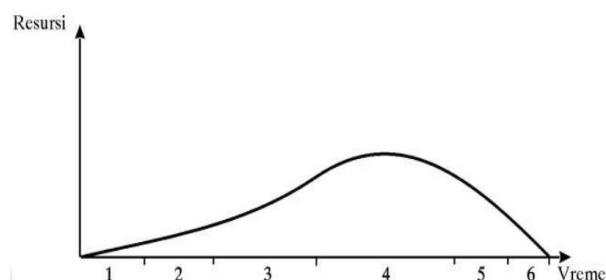
Управљање пројектима представља концепт примене одговарајућих знања, вештина, метода и техника у циљу рационалног усклађивања свих потребних активности и ресурса неопходних да би се одређени пројекат завршио на ефикасан и ефективан начин.

Резултат концепта управљања пројектом представља испуњење постављених циљева пројекта, односно завршетак пројекта у планираном времену и са предвиђеним трошковима и квалитетом. Једна од грана индустрије где се највише примењује управљање пројектима је грађевинарство.

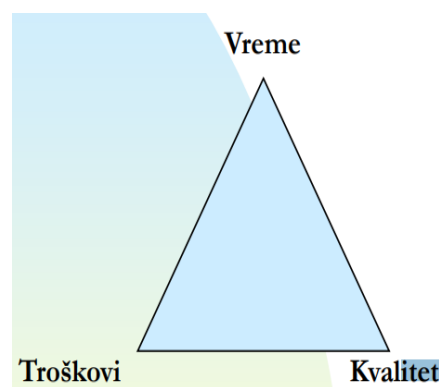
Јасно је да су грађевински пројекти једни од најдужих и најсложенијих пројеката где се ангажује највећи број ресурса и где су највећи буџети, те као узрок непоштовања основних принципа управљања пројектима јављају се велике и видљиве последице.

1. Развој идеје и концептуализација пројекта
2. Израда инвестиционог програма и доношење коначне одлуке
3. Дефинисање пројекта и израда пројектне документације
4. Имплементација
5. Испитивање и операционализација пројекта
6. Анализа и затварање пројекта

Као најутицајније (лако приметне) области знања о којима је потребно водити рачуна и имати сталну контролу током управљања грађевинским пројектима јесу време, трошкови и квалитет изведених радова јер су ове области те које одређују ниво успешности сваког пројекта, слика 1 и 2.



Слика 1. Животни циклус пројекта



Слика 2. Троугао области знања

НАПОМЕНА:

Овај рад је произтекао из мастер рада чији ментор је био проф. др Игор Пешко.

2. ФАЗЕ ПРОЈЕКТА

У савременом добу суштина успешности управљања пројектом представља одржавање равнотеже у горе поменутим троуглу успешности— трошак, квалитет и време извршавања. Да би се та равнотежа успешно одржавала, неопходно је да након иницирања пројекта, он започне свој животни циклус процесом пројектовања по унапред прецизно дефинисаној процедури важећој за све објекте истог типа.

Управљање пројектима обухвата:

- планирање - одређивање свих активности, њиховог трајања и потребних ресурса и утврђивање динамике њихове реализације у складу са предвиђеним роковима завршетка пројекта у целини или појединих његових фаза. Основни принципи планирања су тежња ка што већој паралелизацији радова, укључивање радне снаге, механизације и материјала треба да буде поступно и коришћење свих важнијих ресурса треба да буде континуирано.

- организовање - задатак координације активности свих учесника и организациона средства потребна за остварење пројекта. Организовање омогућава да се утврде и ставе у функцију потребни ресурси и да се обезбеди ефикасна реализација свих планираних задатака и подухвата. Дефинисање организације предузећа подразумева поделу посла, груписање, повезивање и дефинисање појединих врста послова, одређивање овлашћења и одговорности и склапање целокупне структуре која ће да омогући примену зацртаних планова. Тиме су организовање и планирање директно повезани. Планирање грађевинских пројеката даје циљеве и задатке, а организовање дефинише логичку структуру свих потенцијала, која омогућава да се утврђени планови и реализују.

- контролу - управљачка активност која подразумева утврђивање одступања од планираних и пројектованих величина, анализу узрока одступања и активирање надлежних органа ради елиминисања одступања. Активности контроле се односе на квалитет, количине, трошкове, време и функционисање организације. Процес контроле непрекидно функционише у току целокупног одвијања процеса управљања и служи као својеврсни регулатор процеса управљања пројектом. Без контроле није могуће остварити постављене циљеве и задатке, односно није могуће управљање.

- координацију - усклађивање у извршавању активности, одржавање хармоније и вршење адаптације и смиривања између учесника у реализацији грађевинских пројекта, што све скупа захтева стално комуницирање између извршиоца одређених задатака.

3. УЧЕСНИЦИ У ПРОЈЕКТУ И ЊИХОВА УЛОГА

Учесници у пројекту су појединци или организације који су активно укључени у тај пројекат, или на чије интересе извођење пројекта или његов завршетак могу имати одређене последице, слика 3. Од њих зависи степен успешности завршетка неког пројекта.

Кључни учесници на пројектима:

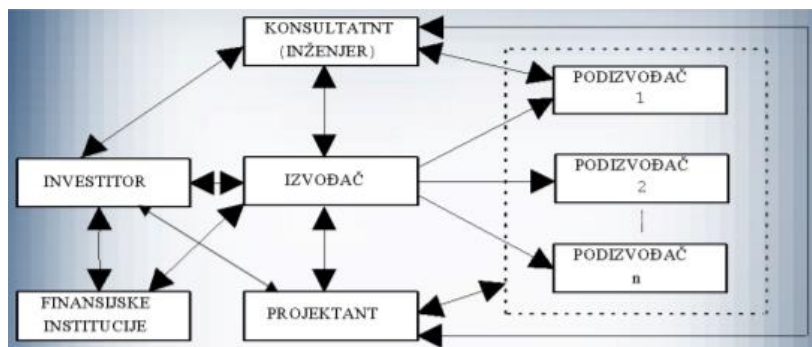
- Инвеститор или наручилац - организација, појединац или фирма која има потребу за изградњом објекта и располаже финансијским средствима потребним за реализацију пројекта. Да би се његова идеја остварила потребно је да именује одговарајуће стручне људе за различите делове пројекта, те на тај начин добије коначан производ на најефикаснији могући начин. Пре почетка самог грађења у обавези је да обезбеди акт којим се одобрава грађење, као и да пријави почетак грађења.

- Извођач - особа, предузеће или компанија чију је понуду инвеститор прихватио. Инвеститор може да именује једног или више извођача радова.

- Консултант – особа коју ангажује инвеститор задужена за сагледавање утицаја разних фактора који ће утицати на будући пројекат. Улога консултанта је саветодавна, али се могу добити овлашћења да заступа свог послодавца. Такође, и извођач има слободу да ангажује консултанта уколико процени да му је у одређеној области потребно стручно знање.

- пројектант – има улогу да, према захтевима инвеститора, конципира и обједини изглед, садржај и функционисање објекта, димензије његових елемената и делова, материјале и технологију изградње. Рад пројектанта се може схватити као посебан вид консултантске услуге.

- надзор – особа која обавља низ послова везаних за проверу квалитета извођења радова, контролу материјала који се уграђује, контролу подударности извођења радова са техничком документацијом на основу које је одобрена градња објекта, контролу динамике грађења. Инвеститор је дужан да именује стручни надзор. У случају комплекснијих пројеката, стручни надзор се посебно именује за пројектантски и извођачки део посла.



Слика 3. Учесници у пројекту и њихова уска повезаност

4. УГОВОРИ ЗАСНОВАНИ ПО ПРИНЦИПУ ЈЕДИНИЦЕ МЕРЕ

Уговори засновани на мерењу и вредновању стварно извршених радова по правилу садрже предмер радова и унапред дефинисане јединичне цене. Овакви уговори настају јер се обим радова не може са сигурношћу проценити за одређену количину послова. Јединична цена је цена дефинисана за одређену врсту радова и одређену јединицу мере. Уговори засновани на јединичним ценама прецизно утврђују начин мерења извршених количина у обрачунском периоду обично за један месец. Тако утврђене количине се множе са уговореним јединичним ценама и добија се фактурисана вредност извршених радова која се потписује у облику званичног документа. На основу потписаног оваквог документа извођач има парво да реализује део својих финансијских потраживања и то на начин који се прецизно дефинише у уговору.

Месечним привременим ситуацијама се покривају настали трошкови све до последње, коначне ситуације и коначног обрачуна. Коначна цена радова добија се коначним обрачуном, који представља документ са прегледом свих извршених количина и на тај начин одређених цена појединих врста радова и пројекта у целини.

Gradiliste: NIS - instalacije Sektor: Montazni radovi Objekt: Hidrantska mreza
Prahovo

Обрачунски лист грађевинске књи́ге List broj: _____

Vrsta rada: Demontaza postojećih hidroizolovanih celovinih cevi. U cenu je uračunat odvoz cevi na deponiju u krugu instalacije DN150 i DN100.	Grad. norma _____	Obrač. nacrt _____	Poz. predrač. _____
Šifra _____	broj _____	broj _____	broj 2 1
Jedinična cena din. _____ po _____		Mera _____	1 100,00
A= _____	B= _____	A+B= _____	Mesečno _____
Za izvođača _____			Ukupno _____
Za prenos _____			Nadzorni organ _____

Слика 4. Пример обрачунског листа грађевинске књи́ге

Након прибављања комплетне пројектно-техничке документације наручилац трага за извођачем радова за кога сматра да ће успешно реализовати његову идеју и са којим ће имати добру сарадњу. Да би уговор уопште био потписан и приступило се реализацији пројекта, неопходно је да извођач радова формира понуду за све позиције које се налазе у предмеру радова, те на основу ње уговори радове са наручоцем и приступи њиховом извођењу онога тренутка када наручилац прибави све дозволе потребне за градњу. За самог извођача формирање

понуде је од велике важности, јер, пре свега, мора добро да процени све трошкове који ће се појавити, а исти се најчешће односе на радну снагу, механизацију и велике количине материјала. Значајно је истаћи да се формирање понуде мора постићи у оквиру кратког временског периода.

Пре самог потписивања уговора важно је истаћи да наручилац има права на одабир појединих (дефинисано у уговору) номинованих извођача радова који, најчешће, обављају једну групу радова и стога се сматрају *номинованим подизвођачима*. Они, као такви (номиновани), показују интерес код одговорног извођача јер је он тај који треба да координира свакодневним активностима на градилишту, и на крају управља комплетним пројектом до самог завршетка.

Након потписивања уговора извођач се обавезује да ће у одређеном року реализовати жеље наручиоца и на тај начин придржаваће се уговорних обавеза. У одређеном времену извођач је дужан да изврши своју обавезу – сагради грађевину или изведе грађевинске радове на одређеном земљишту или објекту.

5. УГОВОРИ ЗАСНОВАНИ СА ОДРЕДБОМ „КЉУЧ У РУКЕ“

Сама употреба термина „кључ у руке“ јавља се као последица повећања обима радова за поједине грађевине, као и последица жеља појединих наручилаца да им један извођач обједини све потребне радове на одређеном објекту.

Овакви уговори садрже одредбу „кључ у руке“ која обавезује извођача на извршење свих радова потребних за изградњу и употребу целокупног објекта, најчешће од израде пројекта па све до предаје готовог објекта инвеститору. Када су у питању пројекти који су уговорени на овај начин извођач се обавезује да ће изградити или реконструисати одређену грађевину на одређеној парцели за фиксну цену, те је искључен утицај вишкова и мањкова радова на уговорену цену извођења радова што може бити отежано при састављању понуде главног извођача радова.

Цена из уговора „кључ у руке“ може бити значајно већа него при изградњи објекта по деловима (месечним ситуацијама). Разлог томе је комплекснија ситуација са становишта извођача радова који, да би конкурисао за посао, мора да састави понуду и проследи је наручиоцу. При састављању понуде потребно је да сагледа сваки детаљ пројекта, упозна се са ситуацијом на терену и изврши количину потребног материјала, опреме, механизације и људи који ће учествовати у реализацији пројекта. Све компоненте оваквих уговора треба да буду увезане са циљевима свих учесника пројекта, а ни у ком случају да иду на штету извођача радова јер понуду коју достави, углавном не може да исправи јер је на основу ње закључен уговор између њега и наручиоца.

6. ЗАКЉУЧАК

Израда и реализација пројекта у грађевинарству подразумева много прецизније дефинисање и

орочавање стратегијских циљева, много већу реалност буџетирања, флексибилније планирање, реалну и прецизну динамику пројектних фаза и процеса њихове реализације, веома јасан програм активности (обавеза, овлашћења), изузетно стручан, координисан, мотивисан и компетентан пројектни тим, ефикасне и правовремене комуникације на свим нивоима и стално мерење успеха које се огледа у квалитету, времену и новцу.

У најкраћем, може се закључити да се на пројектима у грађевинарству јављају многобројни проблеми техничке и правне регулативе који су често непредвидиви. Такође, проблеми су махом и организационе природе, а све скупа значи да спадају у домен управљања пројектима. Самим тим, подизање квалитета управљања пројектима води ка решавању анализираних проблема.

Кратка биографија:

Глигорије Вујачић рођен је 1996. године у Врбасу, Република Србија. Основне академске студије завршио 2020. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду из области Грађевинарства одбранио 2022. године.

Контакт: gligorijevujacic1@gmail.com

IDEJNO REŠENJE ODVOĐENJA ATMOSFERSKIH VODA NASELJA OPOVO SISTEMOM OTVORENIH I ZATVORENIH KANALA

CONCEPTUAL SOLUTION FOR ATMOSPHERIC WATER DRAINAGE OF OPOVO SETTLEMENTS WITH A SYSTEM OF OPEN AND CLOSED CHANNELS

Marko Travica, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su izložene metode koje se koriste za projektovanje odvodnje atmosferskih padavina kako zatvorenih tako i otvorenih kanala. Za dimenzionisanje mreže korišćena je Racionalna metoda, kao i softverski paket EPASWMM. Na osnovu analiziranja i upoređivanja rezultata dobijamo slične ali ne identične rezultate.

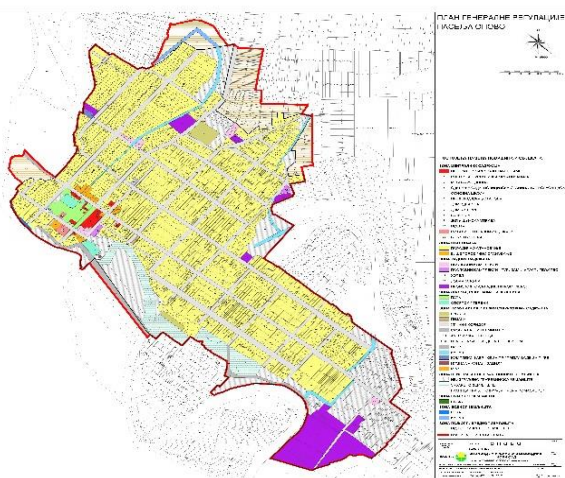
Ključne reči: Projektovanje atmosferske odvodnje, Softverski program EPASWMM, Racionalna metoda.

Abstract – The project presents the methods used to design the drainage of atmospheric precipitation of both closed and open channels. The Rational Method was used for sizing the network, as well as the EPASWMM software package. Based on analyzing and comparing the results, we get similar but not identical results.

Keywords: Atmospheric drainage design, EPASWMM software program, Rational method.

1. UVOD

Opština Opovo je jedna od najmanjih opština u Vojvodini i nalazi na svega 30 km od Beograda i Pančeva odnosno 40 km od Zrenjanina. Projektom je obrađena površina od 286 hektara (Slika 1).



Slika 1 –Postojeća namena površina i objekata

Proračun je rađen za povratni period kiše od dve godine ali i povratni period kiša od dvadeset godina.

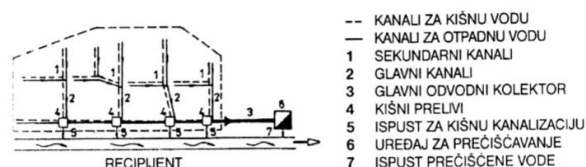
Iz celog niza kiša koje su se javile u toku posmatranog perioda vremena, za projektovanje kanalizacione mreže za odvođenje atmosferskih vode odabira se samo jedna kao merodavna za određivanje kapaciteta kanala. Ta kiša neće biti najjača od svih opaženih kiša jer bi dimenzionisanje kanala prema toj kiši tražilo kanale ogromnih dimenzija, dakle skupe kanale, čiji bi se pun kapacitet koristio samo jednom u 10 ili 20, pa čak i više godina. Za dimenzionisanje se bira neka slabija kiša, koja se češće javlja, s tim da se dozvoljava da se kišnica pri jačim kišama zadržava na terenu izvesno vreme pre nego što bi kanali bili u stanju da je prime i odvedu [2].

Biće iskorišćeni postojeći otvoreni kanali za odvodnju atmosferske kanalizacije do dubine ukopavanja 1-1,2 m. Posle te dubine prelazi na zacevljeni kanalizacioni sistem.

2. KANALIZACIONA MREŽA

Kanalizaciona mreža ima više oblika i sistema. Takođe može se podeliti na atmosfersku kanalizaciju i kanalizaciju otpadnih (domaće upotrebljene vode). U ovom radu biće obrađena odvodnja atmosferskih voda koje u naseljima mogu stvarati velike problem. Posebno velika količina vode pri atmosferskim padavinama se stvara na otvorenim delovima kao što su krovovi, betonske i druge površine koje su sastavljene od materijala koji su ili vodonepropusni ili slabo propuštaju vodu. Delovi naselja koji nisu pravilno regulisani odvodnjom bivaju poplavljeni u većini slučajeva što smo i sami svedoci u poslednjih desetina godina.

Osnovna podela se vrši na **opšti** i **separacioni** sistem. U opšti sistem ubrajamo sve otpadne vode a separacioni sistem (slika 2) možemo smatrati kada imamo posebne odvodnje za otpadne vode [1].



Slika 2 –Separacioni sistem kanalizacije

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Matija Stipić.

Kao što smo već naveli pošto imamo prirodni prijemnik u blizini sa tehničkog ali i ekonomskog rešenja je i pogodan separacioni sistem kanalizacione mreže. Nagib podužnog preseka cevovoda će biti predviđen sa minimalnim

padom. Teren je ravničarskog tipa tj apsolutne kote na obrađenju površini terena su približne.

Takođe je i separacioni sistem bliži u neposrednoj budućnosti faznog širenja kanalizacione mreže.

Sa ekonomskog aspekta će se praviti ušteda tako što nećemo imati crpnih stanica. Crpne stanice su veoma skupa investicija kako kroz njenu kupovinu i instalaciju tako i zbog samog održavanja. Atmosferska kanalizacija će se predvideti gravitacionom odvonjom cevima kroz ulični deo kolovoza kao i priključni ulični slivnici i veza sa obližnjih krovova, oluka i slivnika. Deo vode će se takođe može iskoristiti za pranje površina i vozila. Kroz ovu investiciju bi se značajno smanjila potrošnja sanitarne mreže a sa tim bi se smanjili i troškovi potrošnje, kao i održavanja. Kratka deonica prema izlivu (od čvorišta 2 neposredno pre izliva), koja je dugačka 102 metra, imaće dubinu iskopa veću od pet metara što povećava cenu iskopa. Pošto smo već rekli da je u pitanju kratka deonica, da bi izbegli crpnu stanicu ovo je bolje rešenje sa ekonomskog i tehničkog aspektu, zbog same cene crpne stanice i njenog budućeg održavanja.

Atmosferska kanalizacija tokom perioda može imati širok opseg, tj u sušnim periodima je takoreći nema dok u danima sa padavinama može biti u veoma velikim količinama. Ukupna količina kišnice po jednom hektaru za godinu dana približno iznosi po sledećoj formuli (1):

$$k = a \Psi 10.000 (m3/ha.god) \quad (1)$$

Deo padavina koje dolaze u dodir sa površinom se uvek prvo zadrže na datoj površini do njenog zasićenja. Nakon toga dolazi do oticanja viška vode. Zbog toga je veoma bitno koji tip podloge obrađujemo jer od njegove važnosti se uzima dati koeficijent oticanja Ψ .

Maksimalni koeficijent oticanja Ψ kod kosih krovova (od crepa, stakla, metala ili drugih građevinskih materijala) jednak 0.9 – 1.0, dok minimalni koeficijent oticanja Ψ kod zelenih površina može biti 0,1 – 0,3 (tabela 1).

Tip površine	Tip pokrivenosti	Srednji koef. oticaja
Kosi krov	metal, staklo, cementne ploče	0.9-1.0
Ravan krov, Nagib do 3° ili oko 5°	metal, bitumen, šljunak	0.7-1.0
Krov sa vegetacijom, Nagib do 15° ili oko 25°	sa humusom < 10 cm sa humusom > 10 cm	0.5 0.3
Putevi, trotoari, trgovi (ravni)	asfalt, vrst pošljunčani sloj filter kamen	0.9 0.6 0.25
Nasipi, bankine i kanali sa oticajem u odvodni i kanalizacioni sistem	glinovito zemljište glinasti pesak peskovito zemljište	0.5 0.4 0.3
Bašte, pašnjaci i obrađivo zemljište	ravan teren strm teren	0.0-0.1 0.1-0.3

Tabela 1 –Srednji koeficijent oticaja Ψ prema tipu i nagibu površine

3. PRORAČUN I DIMENZIONISANJE CEVOVODA

3.1 Proračun racionalnom metodom

Široko se primenjuje u dosta svetskih zemalja na urbanizovane slivove do oko 15 km². Pokazuje dobre rezultate i ako nema zanemaruje padavine koje su predhodile ovome. Nije pogodna za velike slivove i dugačke deonice. Određuje se po sledećoj formuli (2):

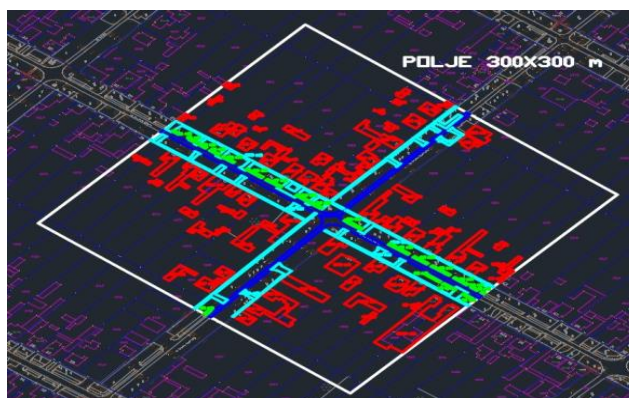
$$Q = \Psi i F (L/s) \quad (2)$$

Slivovi u kojima vreme toka ne premašuje od 10 minuta do 20 minuta mogu se računati prostije sa nepromenljivom jačinom kiše za ceo sliv.

Sa slike 3 možemo videti polje 300 x 300 metara sa obeleženim slivnim površinama koje su sledeće površine:

	NAMENA PROSTORA	POVRŠINA (m ²)
1)	opštinski put	2225
2)	građevinsko područje naselja	10409
3)	pristupni put	2466
4)	meliracioni kanali	413
5)	ukupna površina	15513

Tabela 2 –Namena prostora i njihove površine



Slika 3 –Postojeća namena površina i objekata

Na slici 3 prikazano je nasumično uzeto polje dužine i širine 300 metara. Ukupna površina objekata na to polju je 15513m², a ukupna površina polja je 90000 m². Tako da kada podelimo ukupnu površinu objekata i ukupnu površinu polja dobijamo **koeficijent oticanja Ψ 0.17**.

U tabeli 3 prikazani su dobijeni rezultati i na koji način se tabelarno prikazuje racionalna metoda za date deonice.

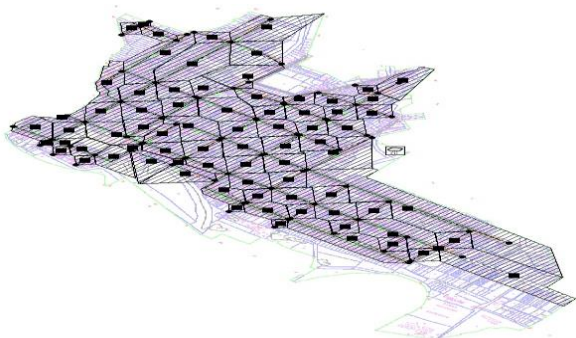
U tabeli 3 dat je samo deo proračuna za povratni period kiše od dve godine. Isti postupak se ponavlja za povratni period kiša od dvadeset godina ali sa drugim intenzitetom kiše.

Deonica od - do	Duzina deonice L [m]	F površina sliva [ha]		Fu * ψ [ha]	Vreme toka [min]			Intenzitet kise [l/s ha]	Proticaj kisnice [l/s]	Broj stanovnika po deonici	Sopstveni proticaj za vreme suse [l/s]	Uzvodni proticaj za vreme suse [l/s]	Nizvodni proticaj za vreme suse Qsr [l/s]	koeficijent neravnomernosti	Nizvodni proticaj za vreme suse Q max,h [l/s]	Nizvodni proticaj za vreme kise [l/s]	Nagib terena It [%]	Nagib dna kanala Ik [%]	Profil kanala [cm]	Pun profil		Punjenje kanala [cm] za vreme		Stvarna brzina [m/s] za vreme		Svarno vreme toka u deonici L/v [min]	Ukupno stvarno vreme toka [min]
		pojedinačna - Fi	ukupna - Fu		do uzvodnog kraja	u deonici - L/v	ukupno													proticaj [l/s]	brzina [m/s]	suse	kise	suse	kise		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
37-35	141	15.60	15.60	2.65	15.00	2.35	17.35	130.0	344.76	145	0.20	0.00	0.20	2.4	0.48	345.24	2.13	1.25	80	461.00	0.92	1.60	52.00	0.16	1.00	2.34	17.34
36-35	236	2.70	2.70	0.46	15.00	5.78	20.78	120.0	55.08	25	0.03	0.00	0.03	2.4	0.08	55.16	2.79	1.50	40	80.80	0.64	0.80	24.00	0.11	0.68	5.74	20.74
35-34	8	0.10	18.40	3.13	19.92	0.17	20.08	120.0	375.36	1	0.00	0.24	0.24	2.4	0.57	375.93	3.75	1.25	80	461.00	0.92	1.60	54.40	0.16	0.93	0.14	20.06
38-34	191	1.90	1.90	0.32	15.00	3.98	18.98	124.0	40.05	18	0.02	0.00	0.02	2.4	0.06	40.11	0.10	3.33	30	56.00	0.80	0.60	18.60	0.14	0.86	3.68	18.68
34-33	193	1.60	21.90	3.72	20.08	3.18	23.27	102.0	379.75	15	0.02	0.26	0.28	2.4	0.68	380.43	1.60	1.25	80	461.00	0.92	1.60	55.20	0.16	1.01	3.18	23.26
39-33	191	1.90	1.90	0.32	15.00	3.98	18.98	124.0	40.05	18	0.02	0.00	0.02	2.4	0.06	40.11	0.30	3.33	30	56.00	0.80	0.60	18.60	0.14	0.86	3.68	18.68
33-32	302	4.20	28.00	4.76	24.10	4.89	28.99	90.0	428.40	39	0.05	0.31	0.36	2.4	0.87	429.27	0.33	1.25	80	461.00	0.92	1.60	61.60	0.16	1.03	4.88	28.99

Tabela 3 –Prikaz dela deonica dobijenih proračunom racionalnom metodom

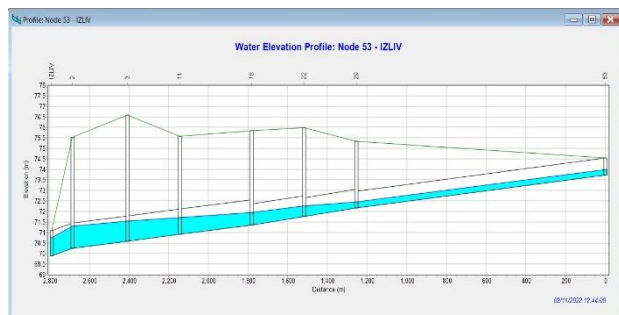
3.2 Proračun putem softvera SWMM

U ovom poglavlju prikazaćemo karakteristične deonice i profile atmosferske odvodnje naselja Opovo obrađene u softveru Storm Water Management Model koji se koristi za kratkotrajne ili dugoročne simulacije količine i kvaliteta hidrologije površine. U softveru je rađen proračun putem visinskih kota. (Slika 4).

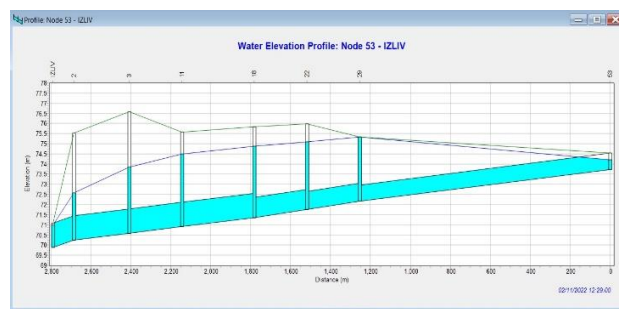


Slika 4 –Osnova slivnih površina u softveru SWMM

Na slici 5 i 6 dati su grafički prikazi nivoa vode za pojedine profile. Pri simulaciji povratnog perioda dvogodišnje kiše (sl. 5) vidimo optimalno punjenje cevovoda za prikazane deonice. U momentu najvišeg nivoa kiše povratnog perioda dvadeset godina (sl. 6) vidimo punjenje šahtova ali ne i izlivanje jer pi kota nigde ne prelazi kotu terena.



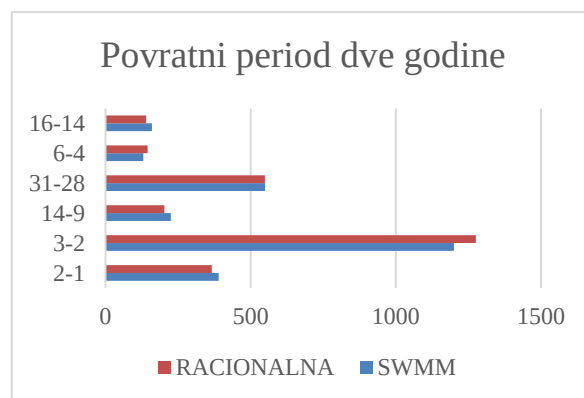
Slika 5 – profil 53-IZLIV za povratni period dvogodišnje kiše



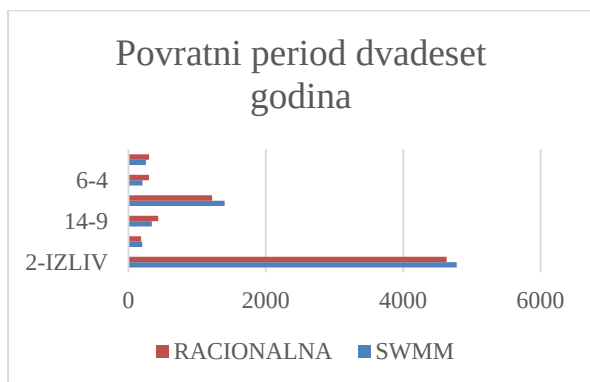
Slika 6 – profil 53-IZLIV za povratni period dvadesetogodišnje kiše

3.3 Poređenje dobijenih rezultata

Rezultate dobijene putem racionalne metode i kroz softverski program EPASWMM upoređićemo na graficima 1 i 2. Za zadate deonice dobijamo slične rezultate. Prikazaćemo rezultate deonica za povratni period od dve i povratni period od dvadeset godina.



Grafik 1 –Poređenje racionalne metode i softvera SWMM (jedinice izraze u l/s)



Grafik 2 –Poređenje racionalne metode i softvera SWMM
(jedinice izraze u l/s)

4. ZAKLJUČAK

Zbog blagog uzvišenja terena i dugačke deonice koje je potrebno savladati na poslednjoj deonici imaćemo iskop od preko pet metara. Takav iskop je skuplji ali je u pitanju kratka deonica.

Bolje i isplativije rešenje nego postavljanje crpne stanice.

Na osnovu racionalne metode koja je urađena za naselje Opovo, dolazimo do podatka da je moguće blago proširenje naselja (20 % sadašnjih kapaciteta), koji bi ovo idejno rešenje moglo da podrži što se tiče atmosferske odvodnje. Upoređeni rezultati racionalne metode i softvera SWMM su približi ali nisu i identični jer racionalna metoda najbolje rezultate daje do 200 hektara, a u ovom idejnom rešenju je ukupna površina 286 hektara.

Projektovani cevovod zadovoljava povratni period kiša od dve godine, ali i povratni period od dvadeset godina jer ne dolazi do plavljenja područja. Prikazani grafici su u trenucima najvišeg nivoa i pi kota nigde ne prelazi kotu terena, dakle nema plavljenja.

5. LITERATURA

[1] Dr. Dejan Ljubisavljević, Mr Branislav Babić, Mr Aleksandar Đukić, Mr Branislava Jovanović; „Komunalna hidrotehnika primeri iz teorije i prakse“, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 2010;

[2] Skripta: dr Matija Stipić: Komunalna hidrotehnika, Novi Sad 2019

[3] EPASWMM 5.1 – Storm Water Management Model

[4] Uslovi JKP “Beogradski vodovod i kanalizacija”; sajt opštine Opovo-<https://opovo.org.rs/>

Kratka biografija:



Marko Travica rođen je u Beogradu 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Komunalna hidrotehnika odbranio je 2022. god.

kontakt: markotravicaaah@gmail.com

PROCENA STANJA, REVITALIZACIJA I ENERGETSKA SANACIJA LOVAČKOG RESTORANA „KOŠUTNJAK“ U KRAGUJEVCU**ASSESSMENT, REVITALIZATION AND ENERGY REHABILITATION OF THE HUNTING RESTAURANT „KOŠUTNJAK“ IN KRAGUJEVAC**

Ksenija Pejšković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Rad se sastoji iz teorijsko istraživačkog i praktičnog dela. U teorijsko-istraživačkom delu su date karakteristike proizvoda sistema Simprolit. U praktičnom delu je urađena procena stanja objekta restorana „Košutnjak“ u Kragujevcu. Nakon detaljnog vizuelnog pregleda objekta utvrđeni su vrste oštećenja, njihov uzrok i zastupljenost i dat predlog sanacije. Zatim je izvršen proračun energetske efikasnosti objekta u postojećem stanju sa određivanjem energetskog razreda. Na kraju su predložene mere energetske sanacije i ponovljen proračun energetske efikasnosti. Predloženim merama značajno su poboljšana energetska efikasnost zgrade.

Ključne reči: Procena stanja, energetska efikasnost, sanacija, Simprolit

Abstract – his paper consists of theoretical research and a practical part. In the theoretical – research part, the characteristics of the Simprolit system products are given. In the practical part, an assessment of the building of the restaurant „Košutnjak“ in Kragujevac was made. After a detailed visual inspection of the building, the type, the cause, and the degree of occurred damage were determined and the measures for their repair were also. Then, the calculation of the energy efficiency of the building in its current state was performed, with the determination of the energy class. Finally, energy rehabilitation measures were proposed and the calculation of energy efficiency was repeated. The energy efficiency of the building is significantly improved by the suggested measures.

Keywords: Assessment, energy efficiency, rehabilitation, Simprolit

1. SIMPROLIT SISTEM

Simprolit - patentirani modifikovani polistirol beton predstavlja vrstu lakog betona na bazi agregata od ekspanziranih granula polistirola- stiropora.

Pri tome, za razliku od klasičnog građevinskog stiropora, primenjuje se isključivo sirovina oslobođena stirena i pentana – koja se primenjuje za izradu prehrambenih pakovanja, punjenje nameštaja i sl.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

Polistiren (polistirol) se dobija polimerizacijom monomera „stirola“. Stirol je bezbojna tečnost, nerastvorljiva u vodi, ali rastvorljiva u organskim rastvaračima (špiritus, eter itd.). U toku procesa dobijanja polistirena dodaju se različiti aditivi i pentan kao sredstvo za ekspanziju.

Polimerizacijom se dobijaju kompaktne granule polistirena, prečnika 0,2-3,0mm. Granule prečnika 0,2-1,0mm se koriste za dobijanje ambalaže za pakovanje.

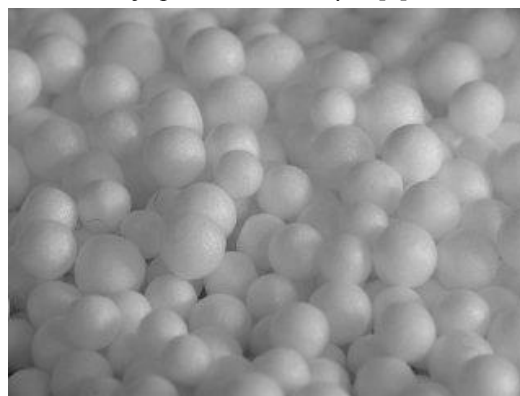
Krupnije granule (1-3mm) koriste se za dobijanje materijala za termoizolaciju:

- ekspanziranog polistirena (EPS) i
- ekstrudiranog ekspanziranog polistirena

Procesom ekspanziranja proizvode se:

- nevezane granule EPS-a,
- oblikovani EPS

Proces proizvodnje nevezanih granula EPS-a sastoji se u zagrevanju kompaktnih granula polistirena pomoću vode temperature 98°C ili pregrejane vodene pare temperature 110°C. Tom prilikom dolazi do povećanja zapremine materijala 50-60 puta i stvaranja tzv. alveolarne strukture – zatvorenih ćelija prečnika 60-200µm [2].



Slika 1. Nevezane granule ekspanziranog polistirena

1.1. Spravljanje simprolita

Simprolit se spravlja kao polusuva mešavina granula stiropora, portland cementa, vode i posebnih aditiva. Ono što Simprolit izdvaja u okviru grupe polistirolbetona kojoj pripada je njegova mala zapreminska masa, malo upijanje vode iz okolne sredine – kako putem absorpcije, tako i putem kapilarnog upijanja, visoka otpornost na mraz, postojanost fizičko-mehaničkih karakteristika bez obzira na procenat sadržaja vlage u njemu i optimalna korelacija između čvrstoće i toplotne provodljivosti.

Proces proizvodnje počinje sa mešanjem granula polistirena i emulzije da bi se one "otežale" i da bi se sprečilo isplivavanje granula na površinu mešavine. Kada se površina granula u potpunosti obloži emulzijom, dodaje se cement a zatim i voda radi postizanja zahtevane konzistencije u zavisnosti od vrste proizvoda koji se pravi [1].

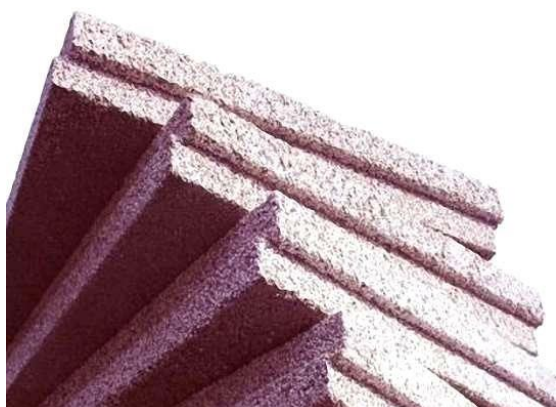
1.2. Proizvodi sistema Simprolit

Simprolit sistem obuhvata više različitih proizvoda koji imaju različitu primenu u građevinarstvu.

1. Simprolit blokovi (Slika 2),
2. Simprolit izolacione ploče (Slika 3),
3. Simprolit međuspratne ploče (Slika 5) i
4. Simprolit monolit – superlaki beton (Slika 5).



Slika 2. Simprolit blokovi



Slika 3. Simprolit termoizolacione ploče



Slika 4. Simprolit međuspratne tavanice

1.2.1. Simprolit izolacione ploče

Vrste simprolit ploča:

- jednoslojne termoizolacione ploče,
- plafonske protivpožarne termoizolacione ploče,
- jednoslojne ventilacione izolacione ploče,



Slika 5. Simprolit monolit – superlaki beton

- jednoslojne podne ploče,
- zvukoizolacione podne ploče,
- troslojne izolacione ploče sa srednjim slojem od grafitnog stiropora i
- troslojne ventilacione izolacione ploče.

Simprolit SOP ploče su krute u svojoj ravni te da zbog svoje čvrstoće na pritisak i zatezanje ne zahtevaju ravne zidne površine koje se oblažu.

Montaža je jednostavna – ravnaju se preko „pogačica“ od lepka i pričvršavaju tiplovima sa „šešrom“, pri čemu se kod bušenja rupa za tiplove na krajevima burgije montira upravna pločica koja izdubi površinu SOP ploče par milimetara, tako da šešir tipla upadne ispod površine ploče, što znatno smanjuje utrošak polimernog lepka u sistemu lepak-mrežica-lepak [1].

1.3. Primena Simprolit proizvoda

Simprolit proizvodi su našli široku primenu u građevinarstvu, gde je potrebno u isto vreme ispuniti dva uslova, dobre mehanička svojstva i dobra termoizolaciona svojstva. Simprolit blokovi se koriste kako za zidanje olakšanih, seizmički otpornijih, konstrukcija, tako i za istovremeno termičko izolovanje objekata smanjujući debljinu termičkog omotača (zida) a povećavajući prodajnu površinu objekta. Simprolit termoizolacione ploče se mogu koristiti kako za nove, tako i za termičku sanaciju već postojećih objekata, gde se njihova prednost u odnosu na standardne proizvode termičkih izolacija ogleda u većoj čvrstini na udar.

Simprolit međuspratne ploče se koriste kako bi se konstrukcije olakšale a ujedno termički i zvučno izolovale.

Simprolit monolit – superlaki beton zahvaljujući svojim termo-fizičkim a i fizičko-mehaničkim karakteristikama, svoju primenu nalazi svuda gde su termoizolacione karakteristike, mala masa, otpornost na vlagu, mraz i požar i površinska čvrstoća, opredeljujući faktori u izboru materijala. Ujedno se mogu koristiti kao sloj za pad, sloj za utopljavanje, osnova za postavljanje hidroizolacije i sloj za zaštitu hidroizolacije [1].

2. PROCENA STANJA OBJEKTA

2.1. Tehnički opis

Objekat restorana „Košutnjak“ u Kragujevcu izgrađen je 1968. godine od strane Preduzeća za inženjering i projektovanje Kragujevac a investiran od strane opštine Kragujevac i šumskog gazdinstva Kragujevac. Dograđen

je 1971. godine i tako dupliran u površini. U osnovi je pravougaog oblika, čine ga prizemlje sa galerijom ukupne površine 612,06m².

Noseća konstrukcija se sastoji od AB ramova i sekundarnih greda upravnog pravca na glavne ramove. Međuspratna konstrukcija je puna armirano-betonska ploča debljine 15cm, dok su iznad pomoćnih prostorija ivedene TM3 tavanice debljine 16+4cm. Krovna konstrukcija se sastoji od drvenih rožnjača oslonjenih na betonske grede – rogove, pokrivena azbest-cementnim pločama sa podšivkom od dasaka.

2.2. Procena stanja

U okviru procene stajna objekta obuhvaćeni su AB stubovi i grede koji čine ramove, koji nose glavnu konstrukciju, sekundarne AB grede, međuspratna tavanica, terasa, stepenište i grede krovne konstrukcije.

Vizuelni pregled sa uočavanjem defekata i oštećenja je obavljen sistematično obuhvatajući sve elemente koji su bili dostupni za pregled.

Kao karakteristična oštećenja svih stubova javila su se oštećenja fasadnog premaza, otpadanje fasadnog maltera i biološka korozija u dnu stubova izazvana povećanom vlažnošću usled delovanja atmosferskih voda (Slika 6).



Slika 6. Oštećenja AB stuba G10

Karakteristična oštećenja AB greda (glavnih i sekundarnih) su locirana dominantno u slojevima završnih obrada i eventualno u zaštitnom sloju betona u vidu ljuaskanja fasadnih premaza, maltera i biološke korozije prouzrokovane prodiranjem vode kroz oštećenu krovnu konstrukciju (Slika 7).

Rekapitulacijom svih uočenih oštećenja na objektu ustanovljeno je da najveći deo oštećenja potiče od uticaja atmosferskih voda koje dospevaju u objekat ili zbog nedostatka stakala (stolarije) ili zbog narušenog stanja krovne konstrukcije.



Slika 7. Oštećenja noseće AB grede

3. ENERGETSKA EFIKASNOST – POSTOJEĆE STANJE

Proračun je sproveden u svemu prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada „Službeni glasnik RS“ br.061/2011. Sklopovi termičkog omotača su svrstani u netransparentne i transparentne u zavisnosti od slojeva i položaja elemenata.

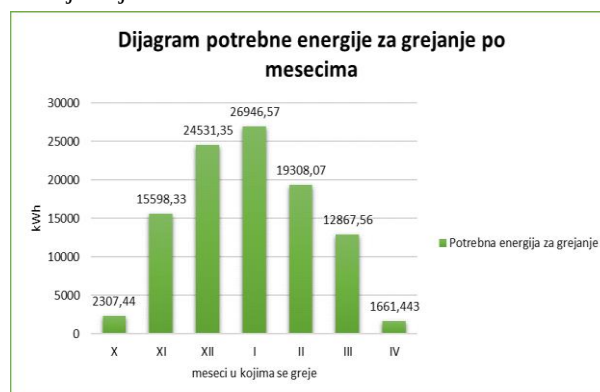
Za svaku od pozicija termičkog omotača sproveden je proračun građevinske fizike, koji podrazumeva određivanje koeficijenata prolaza toplote za transparentne elemente, a za netransparentne odrađeni su i raspored temperatura, minimalna otpornost sklopa, difuzija vodene pare i parametri letnje stabilnosti.

Ukupan broj sklopova obuhvaćen proračunom je 23, od kojih su 12 netransparentni, a 11 transparentni.

Svi analizirani sklopovi su imali veći koeficijent prolaza toplote od pravilnikom propisane vrednosti.

Nakon izvršenog proračuna za svaku poziciju posebno, pristupilo se proračunu toplotnih gubitaka i dobitaka zgrade, nakon čega je određena potrebna energija za obezbeđenje osnovnih uslova toplotnog komfora.

Na grafiku 1 prikazana je godišnja potreba energije za grejanje po mesecima pre nego što je urađena energetska sanacija objekta.



Grafik 1. Prikaz godišnje potrebne energije za grejanje po mesecima

Na osnovu relativne godišnje potrebe energije za grejanje objekat je svrstan u F energetske razred.

4. ENERGETSKA SANACIJA OBJEKTA

U cilju poboljšanja energetske svojstava zgrade predviđena je energetska sanacija spoljašnjih zidova objekta, stubova i vertikalnih serklaža u spoljašnjim zidovima, unutrašnjeg zida prema negrejanom prostoru, ploče iznad negrejanog prostora, ravnih krovova kao i kosog krova. Predviđena je i zamena svih prozora, spoljašnjih vrata i zastakljenih portala adekvatnom stolarijom i aluminijumskom bravarijom.

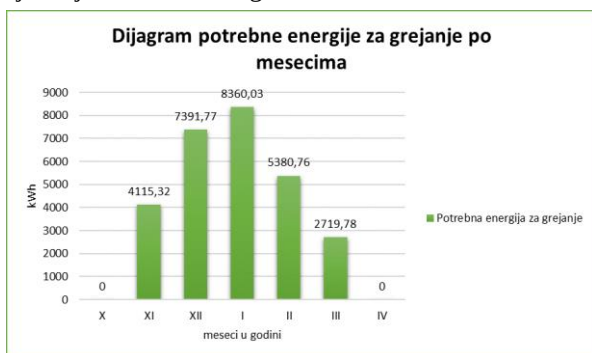
U cilju smanjenja vrednosti koeficijenata prolaza toplote potrebno je povećati ukupan otpor prolazu toplote sklopova.

Za unapređenje energetske efikasnosti objekta predložene su sledeće mere:

- Za termoizolaciju spoljašnjih zidova i elemenata koji pripadaju spoljašnjem netransparentnom omotaču objekta izabrane su Simprolit jednoslojne ploče (osim na zidovima čiji spoljni izgled mora ostati nepromenjen)
- Za termoizolaciju zidova sa unutrašnje strane korišćena je Knauf mineralna vuna.
- Za termoizolaciju ravnih krovova predloženo je uklanjanje svih nenosivih slojeva konstrukcije a zatim postavljanje PVC folije kao parne brane, kamene vune, cementne košuljice kao sloja za pad, zatim hidroizolacije i konačno betonskih ploča kao završnog sloja.
- Za sanaciju kosog krova usvojeno je prvenstveno uklanjanje svih slojeva koji nisu noseći (zbog vidne i nepopravljive deterioracije) a zatim formiranje plafona od gips-kartonskih ploča na podkonstrukciji od aluminijumskih profila, zatim postavljanje parne brane, mineralne vune, kamene vune između betonskih rogova na koju je postavljena paropropusna vodonepropusna folija, daske i konačno eternit krovne ploče.
- predložena je i sanacija svih transparentnih elemenata omotača objekta, usvajanjem aluminijumskih profila i trostrukog niskoemisionog stakla (d=4-8-4-8-4mm).

Nakon usvojenih mera za poboljšanje energetske svojstava objekta ponovljen je proračun građevinske fizike.

Na grafiku 2 prikazana je potrebna energija za grejanje objekta po mesecima, nakon što je urađena energetska sanacija. Nakon uvođenja predloženih mera za energetsku sanaciju i ponovnog proračuna energetske efikasnosti, objekat je svrstan u energetski razred C.



Grafik 2. Prikaz potrebne energije za grejanje po mesecima

5. ZAKLJUČAK

U praktičnom delu rada je urađena procena stanja objekta restorana „Košutnjak“. Analizom prikupljenih podataka ustanovljeno je da su oštećenja objekta samo u estetskom domenu i da nije ugrožena nosivost i stabilnost ali da su ugrožene trajnost i funkcionalnost objekta kao posledica zanemarivanja i neodržavanja.

Nakon procene se pristupilo proračunu energetske efikasnosti prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada „Službeni glasnik RS“ br. 061/2011. objavljenom 19.08.2011. godine. Proračunom je utvrđeno da objekat pripada energetskom razredu F.

Kao mere energetske sanacije je predloženo „oblačenje“ objekta termoizolacionim materijalima. Za izolaciju spoljašnjih netransparentnih površina odabrane su uglavnom Simprolit termoizolacione jednoslojne ploče dok su za ravne krovove, kose krovove i zidove koji se oblažu iznutra korišćeni proizvodi Knauf sistema – mineralna i kamena vuna. Sanacijom su obuhvaćeni i transparentni elementi korišćenjem aluminijumskih profila i trostrukih staklopaketa.

Nakon ovako obavljene energetske sanacije i proračuna prolaza toplote utvrđeno je da se energetski razred objekta poboljšao, i da sada objekat spada u C energetski razred, čime je ispunjen uslov da se energetskom sanacijom objekta energetski razred objekta mora povećati za bar jedan.

6. LITERATURA

- [1] Simprolit Sistem, rešenja i proizvodi: www.simprolit.rs
- [2] Radonjanin V, Malešev M: Materijali u građevinarstvu 2, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] Inženjerska komora Srbije: Predavanja za obuku o energetske efikasnosti zgrada, „Sl. glasnik RS“, br.61/2011, Beograd
- [4] Radonjanin V, Malešev M.: Sanacija betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Kratka biografija:



Ksenija Pejčević rođena je u Kragujevcu 1993. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevina – Konstrukcije, trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija odbranila je 2022. godine.
kontakt: kstenija_nena7@hotmail.com

PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA VIŠEPORODIČNE STAMBENE ZGRADE U KRALJEVU**ASSESSMENT AND ENERGY REHABILITATION OF MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDINGS IN KRALJEVO**Marijana Petrović, Mirjana Malešev, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – Građevinarstvo**

Kratak sadržaj – Rad se sastoji iz teorijsko istraživačkog i praktičnog dela. U teorijskom delu su obrađene tehnike sanacija od kapilarne vlage, a u praktičnom delu rada je urađena procena stanja stambene zgrade u ulici Cara Dušana broj 96 u Kraljevu. Vizuelnim pregledom uočeni su nedostaci i oštećenja i utvrđeno je da je potrebno preduzeti sanacione mere u smislu poboljšanja energetske efikasnosti zgrade. Urađen je elaborat energetske efikasnosti zgrade i predložene su mere za poboljšanje energetskih svojstava elemenata konstrukcije. Primenom predloženih mera, sanirani objekat bi iz sadašnjeg energetskog razreda F prešao u energetski razred D, čime bi energetska efikasnost bila povećana za dva razreda.

Ključne reči: Energetska efikasnost, Sanacija, Toplotni gubici, kapilarno upijanje ode

Abstract – The paper consists of theoretical research and practical work. The theoretical part addresses the renovation methods for damage of masonry walls caused by capillary absorption, and the practical part consists of assessing the condition of the residential building in Kraljevo, in the Cara Dušana street, number 96. It was established through visual assessment that the building needs to be rehabilitated for energy efficiency purposes. The calculation for energy efficiency was performed, and rehabilitation measures were suggested. By applying the suggested methods, the renovated building would change the existing energy class F to energy class D, thus improving two energy classes.

Keywords: Energy efficiency, Rehabilitation, Thermal losses, Capillary absorption

1. TEORIJSKI DEO**1.1. Metode sanacije kapilarne vlage**

Vlaga je jedan od osnovnih uzroka deterioracije zidanih konstrukcija. Voda koja se kreće sa sobom nosi rastvorene soli i ostatke organskih materija koji se talože u porama, a naizmeničnim vlaženjem i sušenjem dovode do razaranja površinskog sloja zida – kapilarne devastacije. Kada dođe do potpunog zasićenja pora, malter gubi svoju prionljivost i otpada sa zida.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

Sanacija konstrukcija od kapilarne vlage postiže se primenom neke od sledećih tehnika:

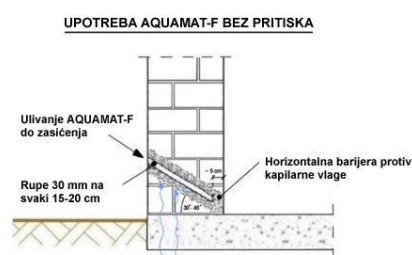
- Presecanje zidova i ugrađivanje vodonepropusnih barijera,
- Injektiranjem hidrofobnih emulzija,
- Nanošenjem isušivih i paropropusnih maltera
- Elektroosmozom,
- Izradom drenažnih kanala, itd.

1.2. Tehnika injektiranja zidova

Injektiranje odnosno hidrofobizacija može biti rađeno tečnostima ili pastama.

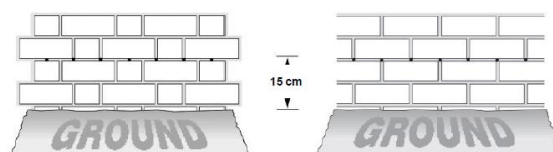
Injektiranje tečnostima podrazumeva obijanje oštećenog maltera i čišćenje malterskih spojnica, bušenje rupa (pod uglom) u cik-cak rasporedu u dva-tri reda na međusobnim rastojanjima od 10 do 20cm, obesprišavanje rupa, nalivanje injekcionih tečnosti do zasićenja u toku jednog dana ili ubrizgavanje pod pritiskom, i konačno zatvaranje rupa nakon 30 dana od injektiranja (slika 1).

Materijali koji se koriste kao injekcione tečnosti su vodeno staklo, silikonske mikroemulzije, parafini, organske smole, bitumenske emulzije, mikrocementne emulzije, ...



Slika 1. Injektiranje bez pritiska upotrebom proizvoda AQUAMAT-F [1]

Injektiranje pastama podrazumeva bušenje horizontalnih rupa u malterskoj spojnici i ubrizgavanje injekcione paste ručnim pištoljem u prethodno očišćene spojnice (slika 2).



Sl.2. Raspored bušenja rupa za injektiranje pastama [1]

1.3. Ostale tehnike

Presecanje zidova obavlja se kroz horizontalne spojnice ili kroz sam materijal. Presecanje se vrši mašinski, a kao izolacija se mogu koristiti plastične talpe, bitumenske trake, epoksidne ploče, itd.

HIO tehnologija spada u tehniku koja predstavlja trajnu zaštitu od kapilarne vlage, i postupak se sastoji od obijanja maltera, bušenja rupa i presecanja zida, čišćenja reza, ubrzgavanje injekcione mase pomoću pumpe visokog pritiska a zatim utiskivanje šina u svežu injekcionu masu u rezu (slika 3).



Slika 3. HIO tehnologija [8]

Paropropusni malteri, uz pomoć stabilnih vazdušnih pora i mikropilara, omogućavaju razmenu čestica vodene pare sa različitim koncentracijama mineralne soli, sve do uspostavljanja ravnoteže.

Postupak sanacije se sastoji od obijanja starog maltera, uz vođenje računa da se ne ošteti opeka (a opeku treba očistiti do starog maltera, i fuge do dubine oko 2cm), a zatim se paropropusni malter priprema u skladu sa uputstvom proizvođača i nanosi mistrijom, nabacivanjem u obliku riblje krljušti na prethodno vlažan zid bez zaglađivanja, u dva ili više sloja.

Nakon sušenja grubog sloja nanosi se fini sloj materijala, na navlažen grubi sloj, u sloju od 3-5mm, nakon čega se perdaši (slika 4).



Slika 4. Nanošenje paropropusnog maltera [1]

Elektroosmoza je promena smera toka vode u zidu, odnosno dovodenje dva materijala (vode i zida) u električno polje između katode u donjoj zoni i anode u gornjoj, što dovodi do kretanja pozitivnih jona (vode) u smeru katode, odnosno negativnih u smeru anode.

Postiže se na jedan od dva načina:

1. Uspostavljanjem napona iz stalnog izvora struje.
2. Formiranjem prirodnog galvanskog elementa koji će stvoriti napon potreban za prekidanje kapilarnog penjanja vode.

Drenaža objekta se radi u cilju odvođenja podzemne vode dalje od objekta ili snižavanja nivoa podzemnih voda, te samim tim sprečava ili umanjuje mogućnost pojave kapilarne vlage u objektu.

2. PROCENA STANJA OBJEKTA

2.1. Tehnički opis konstrukcije

Predmet analize ovog rada jeste stambeni objekat u Kraljevu, u ulici Cara Dušana broj 96, spratnosti Po+Pr+1+T, sa ukupno 8 stambenih jedinica.

Objekat je zidan, masivnog konstruktivnog sistema, pravilne pravougaone osnove i nema dodira sa susednim objektima (slika 5).

Glavni vertikalni noseći elementi su zidovi od pune opeke na etažama i zidovi od kamena u podrumu, dimenzija 43cm. Pregradni zidovi su dimenzija 12-14cm, a zidovi koji dele stanove rađeni su kao dvoslojni zid debljine sloja 10cm sa vazдушnim međuprostorom od 8cm.

Međuspratne konstrukcije su polumontažne sitnorebraste tavanice tipa „Avramenko“, sa armiranobetonskim gredicama postavljenim na razmaku oko 40cm, preko kojih je izvedena monolitna ploča debljine 5cm.

Stepenište je dvokrako, armiranobetonsko, sa međupodestom od AB ploče.

Noseća konstrukcija krova je klasična drvena konstrukcija koja se sastoji od rogova, rožnjača, stubova, pajanti, klešta i venčanica.

Objekat je 2010. godine bio oštećen prilikom zemljotresa, pri čemu su se najveća oštećenja javila na spojevima podužnih i poprečnih fasadnih zidova. Velika oštećenja pretrpeo je i srednji podužni noseći zid na kome su se mogle uočiti karakteristične x pukotine. Takođe je ustanovljena pojava pukotina na stepenišnim zidovima, do kojih se smatra da je došlo zbog vertikalnog oscilovanja konzolnih stepenika, čija gradnja više nije dozvoljena u seizmički aktivnim područjima.

Izvršena je sanacija po sledećem:

Injektiranje pukotina čija širina iznosi više od 3mm,

Ojačanje stepenišnih zidova postavljanjem AB platna,

Ojačanje stepenišnih krakova postavljanjem čeličnih I profila na slobodnim krajevima,

Izradom AB zidnih platana za ukrućenje nosećih zidova.



Slika 5. Izgled objekta sa severo-zapadne strane.

2.2. Analiza oštećenja uočenih vizuelnim pregledom

Vizuelni pregled predstavlja fazu procene stanja konstrukcije u kojoj je potrebno uočiti i registrovati sve defekte i oštećenja posmatrane konstrukcije.

Defekti na konstrukciji su posledica grešaka u fazi projektovanja i izvođenja, ili usled upotrebe neodgovarajućih materijala, i manifestuju se kao greške geometrije, smanjenje athezije između maltera i opeke, itd.

Oštećenja konstrukcije su posledica različitih dejstava mehaničke i fizičke prirode, ili hemijske agresije. Najčešća oštećenja koja se javljaju u zidanim konstrukcijama su posledica vlage, a ostala su posledica diferencijalnog sleganja, zemljotresa, itd. Manifestuju se kao buđ, mrlje i iscvetavanje, mekan, trošan i opao malter, ljuskanje opeka u zidu, pukotine, izbočavanje zidova, ispadanje opeka iz zida.

Prilikom procene stanja vizuelnim pregledom uočena su sledeća oštećenja:

- Mehanička oštećenja
- Prsline,
- Fleke od vlage,
- Ljuskanje/otpadanje maltera
- Oslabljen poprečni presek

Utvrđeno je da trajnost i nosivost konstrukcije nisu smanjeni, da stabilnost konstrukcije nije ugrožena, dok je funkcionalnost objekta ugrožena samo lokalno zbog pojave vlage. Najveća oštećenja su na fasadi, pa su predložene mere za njenu sanaciju u okviru energetske sanacije zgrade.

2.3. Predlog sanacionih mera

Na osnovu napred navedenog, glavni problemi predmetne konstrukcije jesu smanjenje trajnosti završnih obloga zidova koje je uzrokovano starenjem materijala, lokalno povećanom vlagom, i drugim sitnijim oštećenjima, kao i lokalno narušena funkcionalnost u prostorijama gde su uočena oštećenja usled prodora vlage u unutrašnjost objekta. Sanacione mere koje treba preduzeti su u domenu nekonstrukcijskih sanacija koje se odnose na zamenu oštećenih materijala i sprečavanje prodora vlage u unutrašnjost objekta.

3. ENERGETSKA EFIKASNOST OBJEKTA

Elaborat energetske efikasnosti izrađen je prema važećem Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada, „Službeni glasnik RS“ br. 61/2011.

Definisano je ukupno 16 sklopova za različite konstrukcijske elemente, od toga je 9 netransparentnih, a 7 transparentnih pozicija. Netransparentne pozicije čine 4 sklopa za spoljašnje zidove, 2 sklopa za unutrašnje zidove, i 3 sklopa za međuspratne konstrukcije. Transparentne pozicije čine 4 sklopa prozora, 2 sklopa za balkonska vrata, i 1 sklop za ulazna vrata.

Za spoljašnje zidove, proverena je toplotna provodljivost, difuzija vodene pare i toplotna akumulativnost. Za unutrašnje zidove i međuspratne konstrukcije proračunati su koeficijent prolaza toplote i difuzija vodene pare, dok je za transparentne sklopove proveravana samo toplotna provodljivost. Proračun koeficijenata toplotne provodljivosti dat je u Tabeli 1.

Tabela 1. Pregled koeficijenata prolaza toplote kroz omotač zgrade

Pozicija	Površina – A_i [m ²]	Koeficijent prolaza toplote – U_i [W/m ² K]	Maksimalni koeficijent prolaza toplote – U_{max} [W/m ² K]	Uslov je zadovoljen
SZK	8.790	1.9610	0.4	NE
SZO	210.543	1.3408	0.4	NE
SZOP	27.570	1.3244	0.4	NE
SZOAB	71.736	1.3255	0.4	NE
UZAB1	27.104	1.1689	0.55	NE
UZAB2	48.490	1.1364	0.55	NE
MK1	221.940	1.3281	0.4	NE
MK2	12.271	2.0282	0.4	NE
MK3	239.470	0.1255	0.4	DA
PR1	34.720	3.5000	1.5	NE
PR2	24.380	3.5000	1.5	NE
PR3	21.060	3.5000	1.5	NE
PR4	2.880	3.5000	1.5	NE
V1	17.304	1.6200	1.6	NE
V2	5.050	3.5000	1.5	NE
V3	25.000	3.5000	1.5	NE

Nakon toga, izračunati su transmisioni gubici kroz transparentne i netransparentne površine, ventilacioni i linijski gubici, kao i dobici od sunčevog zračenja i unutrašnjih izvora.

Ustanovljeno da su najveći gubici energije kroz spoljašnje zidove i kroz transparentne elemente, zatim kroz međuspratne konstrukcije, a najmanji kroz unutrašnje zidove.

Na osnovu proračuna razlike između ukupnih gubitaka i dobitaka toplote kroz netransparentne i transparentne elemente termičkog omotača zgrade, dobijene su vrednosti potrebne energije za grejanje objekta u toku godine, prema kojima posmatrana zgrada pripada energetskom razredu F, što ukazuje na postojanje nepovoljnih sklopova i potrebu za poboljšanjem energetskih svojstava elemenata konstrukcije njihovom sanacijom.

4. MERE ENERGETSKE SANACIJE I PRORAČUN ENERGETSKE EFIKASNOSTI SANIRANOG OBJEKTA

Sanacija i poboljšanje energetske efikasnosti objekta sprovodi se prema najvećim gubicima. U ovom slučaju sanirani:

Spoljašnji zidovi – izradom kontaktne fasade koja će omogućiti veći otpor prolazu toplote kroz zid. Korišćeni materijali su kamena vuna FKD-N Thermal debljine 8mm, lepak Klebspachtel M, i akrilna fasada Oxix S sloja debljine 2mm, od proizvođača “Knauf Insulation”. Iz sanacije je izuzet sklop zida od kamena zbog otežanih uslova izvođenja kontaktne fasade i male površine koja neće značajno uticati na poboljšanje energetske efikasnosti.

Transparentni elementi – zamenom starih profila sa novim petokomornim PVC profilima tipa Trocal-70mm, od proizvođača “Talaris”.

Međuspratne konstrukcije – postavljanjem drvenih štafni debljine 5cm sa donje strane rebra tavanice, a preko štafni je izveden sloj perlitnog maltera debljine 1cm.

Primenom ranije definisanog proračunskog modela, dobijene su nove vrednosti toplotne provodljivosti sklopova, prikazani u Tabeli 2, koje zadovoljavaju definisane uslove.

Tabela 2. Pregled koeficijenata toplotne provodljivosti kroz omotač zgrade saniranog objekta

Pozicija	Površina – A_i [m ²]	Koeficijent prolaza toplote – U_i [W/m ² K]	Maksimalni koeficijent prolaza toplote – U_{max} [W/m ² K]	Uslov je zadovoljen
SZK	8.790	1.9610	0.4	NE
SZO	210.543	0.3233	0.4	DA
SZOP	27.570	0.3223	0.4	DA
SZOA B	71.736	0.3209	0.4	DA
UZAB1	27.104	1.1689	0.55	NE
UZAB2	48.490	1.1364	0.55	NE
MK1	221.940	0.2309	0.4	DA
MK2	12.271	0.2685	0.4	DA
MK3	239.470	0.1255	0.4	DA
PR1	34.720	1.3379	1.5	DA
PR2	24.380	1.3591	1.5	DA
PR3	21.060	1.3943	1.5	DA
PR4	2.880	1.3079	1.5	DA
V1	17.304	1.6200	1.6	NE
V2	5.050	1.2707	1.5	DA
V3	25.000	1.2953	1.5	DA

Nakon toga, izačunati su transmisijni gubici kroz transparentne i netransparentne površine, ventilacioni i linijski gubici, kao i dobici od sunčevog zračenja i unutrašnjih izvora za sanirani objekat.

Ustanovljeno je da je sanirani objekat primenjenim sanacionim merama unapređen za dva energetska razreda, te da sada pripada energetskom razredu D.

5. ZAKLJUČAK

U praktičnom delu rada izvršena je procena stanja objekta i zaključeno je da nosivost i stabilnost nisu ugrožene, dok je trajnost narušena u određenoj meri. Pristupljeno je proračunu gde je objekat kategorizovan u energetski razred F.

Kako bi se u isto vreme povećala trajnost objekta, ali i smanjila količina energije potrebne za zagrevanje objekta popravljene su karakteristike određenih elemenata objekta, i to spoljašnjih zidova, prozora i balkonskih vrata, i međuspratnih konstrukcija, primenom materijala koji su doprineli poboljšanju koeficijenta prolaza toplote sklopova.

Nakon ponovljenog proračuna energetske efikasnosti na saniranom objektu, on je svrstan u energetski razred D.

Dalje poboljšanje energetske efikasnosti moglo bi se postići poboljšanjem sklopova unutrašnjih zidova.

6. LITERATURA

- [1] Malešev M., Radonjanin V.: „Trajnost i procena stanja zidanih konstrukcija“, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [2] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada („Sl. Glasnik RS“, broj 61/2011).
- [3] Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada („Sl. Glasnik RS“, broj 61/2011).
- [4] Pravilnik o tehničkim zahtevima bezbednosti od požara spoljnih zidova zgrada („Sl. Glasnik RS“, broj 59/2016, 36/2017 i 6/2019).
- [5] Tematsko poglavlje 5 – Uslovi građevinske fizike, autori prof. dr AnaRadivojević, dipl.inž.arh. i doc. dr Aleksandar Rajčić dipl.inž.arh.
- [6] Katalog proizvoda firme „Knauf Insulation“ – <https://www.knaufinsulation.rs/>
- [7] Katalog proizvoda firme „Talaris“ – <https://talaris.rs/>
- [8] <https://www.hio-technology.com/>
- [9] <https://www.waterproofing.rs/>
- [10] <https://www.isomat.rs/>

Kratka biografija:



Marijana Petrović rođena je u Kraljevu 1993. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo - Konstrukcije, procena stanja i sanacija zidanih konstrukcija odbranila je 2022. godine.

Kontakt:
petrovic.marijana88@gmail.com

**PRIMENA PROGRAMSKOG PAKETA CIVIL 3D SA PRIMEROM NA DEONICU
GRADSKJE SAOBRAĆAJNICE****APPLICATION OF SOFTWARE PACKAGE CIVIL 3D ON AN EXAMPLE OF THE CITY
ROAD SECTION**

Mitar Salapura, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Ovaj rad bavi se implementacijom softverskog programa AutoCAD Civil 3D u proces projektovanja gradske saobraćajnice. Tom prilikom je prikazan spektar mogućnosti samog programa kao i njegova praktična primena prilikom procesa projektovanja ulica Uglješe Terzina i Svetozara Miletića u Kikindi. Sam program i njegove opcije su detaljno opisane u procesu izrade digitalnog modela terena, definisanja osovine saobraćajnice, podužnog profila terena, poprečnih profila, koridora, izrade nivelacionog plana itd. Kompletne numeričke i grafičke dokumentacije za predmetnu saobraćajnicu su izrađeni korišćenjem ovog softvera.

Ključne reči: Projektovanje, gradske saobraćajnice, AutoCAD, Civil 3D

Abstract – The subject of this paper is the implementation of the AutoCAD Civil 3D software program in the process of designing a city road section. The spectrum of possibilities of the program was presented, as well as its practical application during the process of designing Uglješa Terzina and Svetozara Miletića streets in Kikinda. The program itself and its options are described in detail in the process of creating a digital terrain model, defining the road axis, longitudinal profile, cross-road sections, corridors, leveling plan, etc. Complete numerical and graphic documentation for the designed road was created using this software.

Keywords: Road design, Streets, AutoCAD, Civil 3D

1. UVOD

Civil 3D jedan od najpoznatijih programa namenjenih prvenstveno za projektovanje saobraćajne infrastrukture. Program je izašao na tržište 2004. godine, a od tada je neprestano ažuriran svake godine. Jedna od najpogodnijih osobina koja krasi ovaj program jeste dinamičko ponašanje elemenata situacionog plana, podužnog profila i poprečnih profila [1].

U početku je bio prvenstveno zamišljen kao nadogradnja za AutoCAD ali zbog velike popularnosti i potražnje prerastao je u samostalnu aplikaciju izgrađenu na AutoCAD platformi. Civil 3D nudi slično radno okruženje i sve funkcionalnosti AutoCAD-a. Program konstantno napreduje iz godine u godinu i njegove nove verzije prate osnovnu verziju programa AutoCAD. Danas se koristi u rešavanju najzloženijih inženjerskih problema.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Miloš Šešlija

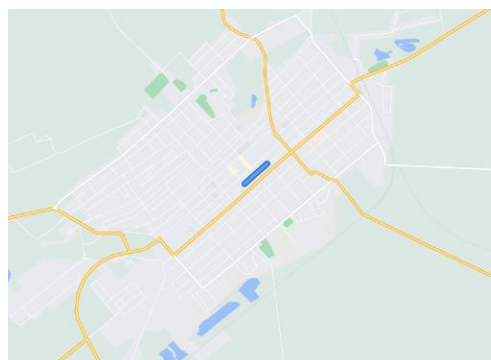
Jedna od glavnih pogodnosti koje nudi Civil 3D jeste sinhronizovanost koja nam omogućava da se sve promene na crtežu vrše u bilo kojoj fazi projektovanja i da se automatski prenose na sve zavisne elemente projekta i crteža, tako da ne postoji potreba za ručnim ažuriranjem pri svakoj izmeni.

Civil 3D sadrži i brojne alatke i funkcionalnosti koje mu omogućuju da postane brži u radu na infrastrukturnim projektima, kao što su mreže cevovoda, modelovanje puteva, računanje kubatura, profilisanje terena i mnogi drugi. Takođe veoma korisna opcija jeste podešavanje stilova prikaza, jedinica mere i ostalih parametara, da sami kreiramo svoj tzv. templejt (eng. template), koji će nam omogućiti da se u bilo kom trenutku pozovemo na njega kako bi sami sebi olakšali rad. Samim tim, naša podešavanja ostaju trajno unutar crteža, uz opciju da ih preuzmemo prilikom izrade nekog novog projekta.

U radu su na praktičnom primeru prikazane mogućnosti programskog paketa AutoCAD Civil 3D kroz projekat rekonstrukcije ulica Uglješe Terzina i Svetozara Miletića u Kikindi.

**2. IDEJNO REŠENJE PROJEKTA REKONSTRUKCIJE
ULICA UGLJEŠE TERZINA I SVETOZARA MILETIĆA U KIKINDI****2.1. Osnovni podaci**

Predmetna gradska saobraćajnica predstavlja delove ulica Svetozara Miletića i Uglješe Terzina (od Save Tekelije do Vuka Karadžića) koje se nalaze u centralnom delu naselja Kikinda, zauzimaju položaj jugozapad - severoistok u dužini od ~450m, slika 1.



Slika 1. Pozicija predmetne deonice u gradu Kikindi

U radu je prikazan projekat rekonstrukcije ulica Uglješe Terzina i Svetozara Miletića u Kikindi. Na nivou ovog projekta izvršen je proračun kolovozne konstrukcije na

osnovu dostupnih merodavnih podataka i detaljno trasi-
ranje predmetne trase saobraćajnice. Osnovna razmera
podloga korišćenih u ovom projektu je 1:500.

Tema ovog rada je bazirana prvenstveno na formiranje
elemenata projektne geometrije svih saobraćajnica u
sklopu ulica uz računarsku podršku. Projektovano je
rešenje koje podrazumeva rekonstrukciju osnovnog
pravca, zatim izradu parkirališta i izradu trotoara za
pešake.

Analiza saobraćajnog opterećenja za projektovanje
kolovozne konstrukcije vršena je prema važećem
standardu SRPS.U.C4.010. Vrednosti faktora ekviva-
lencije za merodavna vozila, saobraćajno opterećenje [2]
u polaznoj godini i prognoza saobraćajnog opterećenja u
periodu od 20 godina su bili dostupni kao ulazni podaci,
te ih nije bilo potrebno pretpostavljati i računati prema
tipskom obrascu. Usvojeno je lako saobraćajno
opterećenje sa vrednošću $6 \cdot 10^5$ ECO 82 KN.

Tabela 1. Kategorija saobraćajnog opterećenja [2]

Grupa saobraćajnog opterećenja	Ukupno ekvivalentno osovinsko opterećenje od 82 KN (Tu) u projektom periodu
Vrlo teško	$>7 \cdot 10^6$
Teško	$2 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^6$
Srednje	$7 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$
Lako	$2 \cdot 10^5 - 7 \cdot 10^5$
Vrlo lako	$<2 \cdot 10^5$

Kolovozna konstrukcija je dimenzionisana prema
važećem standardu primenjenom metodom, na osnovu
podataka dobijenih analizom saobraćajnog opterećenja.
Proverom je ustanovljeno da debljina usvojene kolovozne
konstrukcije $d=60\text{cm}$ zadovoljava uslov ($>h_{\min}=49\text{cm}$),
odnosno nije potreban dodatni sloj peska u cilju zaštite
štetnih uticaja od mraza, slika 2.

	d=4.0 cm	Habajući sloj od Asfalt Betona AB 11c (AC11 Surf) sa bitumenom BIT 50/70
	d=8.0 cm	Bitumenizirani noseći sloj BNS 22cA (AC22 Base) sa bitumenom BIT 50/70
	d=20.0 cm	Drobljeni kameni agregat 0/32 mm
	d=30.0 cm	Drobljeni kameni agregat 0/63 mm
Posteljica: Les - prašinasto peskovita glina		

Slika 2. Kolovozna konstrukcija

Pešačke staze, kolski prilazi i parkinzi su popločani
zastorom od behaton ploča dimenzija 30x30cm. Kolski
prilazi su jasno definisani i izdvojeni od površine
pešačkih staza. Na površinama na kojima se neće odvijati
saobraćaj bilo koje vrste (ni pešački ni drumski),
predviđen je zastor od behatona dimenzija 10x10cm.

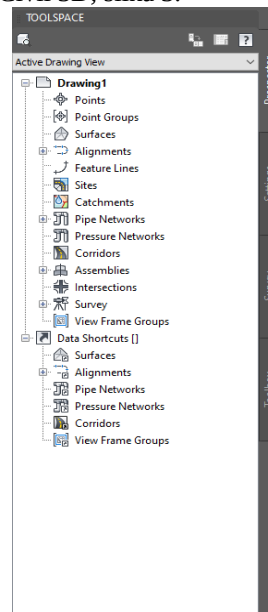
2.2. Tehnički izveštaj

Za potrebe izrade predmetnog tehničkog izveštaja
definisane su osovine i nivelete po osovinama
saobraćajnica koje su usloveljene postojećim stanjem i
zahtevima koji proističu iz usvojene tehnologije
poboljšanja postojećeg kolovoza. Na početku deonice,
kao i na kraju deonice novoprojektovani kolovoz je u
potpunosti uklopljen u postojeće stanje.

Na osnovu ranga i položaja ulice u mreži gradskih
saobraćajnica, lokalnih uslova i ograničenja, usvojena je
ukupna širina kolovoza od 3.5m, prema uslovima za
jednosmerno odvijanje sa obraćaja po zahtevu iz
projektog zadatka i neometan prolazak protivpožarnog
vozila. Usvojena je i minimalna širina pešačke od 2.5m
kao i minimalna širina zaštitnog zelenog pojasa od 2.25m.
Postojeće pešačke staze od betonskog i asfaltnog zastora
promenljivih širina se u potpunosti uklanjaju. Osovina
ulice se pomera $\sim 2.00\text{m}$ na desnu i levu stranu, zbog
formiranja diskontinuiteta sa željom umirenja saobraćaja i
ograničenja brzine kretanja vozila ($<30\text{km/h}$). Izvode se
nove pešačke staze minimalne širine 2.50m sa zastorom
od behaton ploča 30x30cm. Kolovoz je oivičen novim
betonskim ivičnjacima 18/24 sa nadvišenjem od 12cm i
nadvišenjem od 20cm u zavisnosti od nivelacionih
zahteva. Na mestima prelaza pešačke staze preko
kolovoza izvode se betonski ivičnjaci 12/18 sa
nadvišenjem od 2cm, dok se na mestima kolskih prilaza i
parkinga postavlja ivičnjak sa nadvišenjem od 4cm.
Kod objekata sa kratkotrajnom posetom su predviđena
kosa parking mesta pod uglom od 45° . Ispred stambenih
objekata se nalaze paralelna parkirališta uz ivicu
kolovoza. Ukupan broj mesta je 36 za kosi modul,
odnosno 18 za paralelni modul. Projektom su predviđena i
dva parking mesta za potrebe OŠ "Đura Jakšić" i
Osnovnog suda u Kikindi. Broj i dimenzije parking mesta
za osobe sa invaliditetom su definisane prema pravilniku.
Poprečni pad kolovoza je jednostran, pa se rešenje
odvodnjavanja bazira na postavljanju linijskog kanala sa
monolitnom rešetkom sa revizionim elementima u ulici
Uglješe Terzina i postavljanjem atmosferske kanalizacije
sa slivnicima i šahtovima u ulici Svetozara Miletića.

3. PRIMENA SOFTVERSKOG PAKETA AUTOCAD CIVIL 3D U PROJEKTOVANJU GRADSKIH SAOBRAĆAJNICA

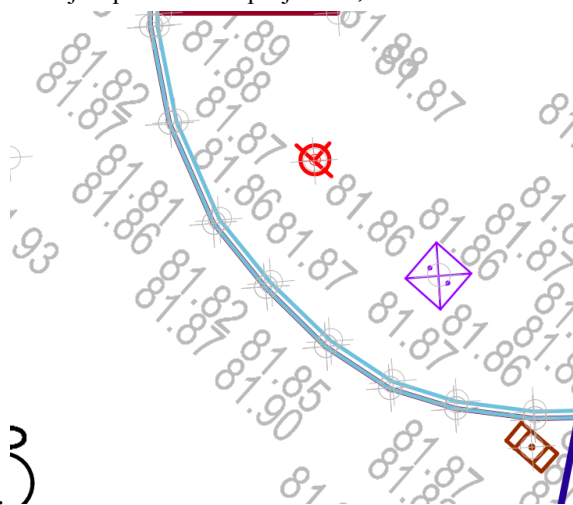
Civil 3D nudi slično radno okruženje i sve funkcional-
nosti AutoCAD-a. Razlika je u tome, što imamo nadog-
radnju sa dodatnim karticama (eng. Ribbon) koje pripa-
daju programu Civil 3D, slika 3.



Slika 3. Nadogradnja sa dodatnim opcijama (eng. Ribbon)

Prilikom projektovanja u Civil 3D programu, možemo definisati i editovati sledeće entitete: Tačke, digitalni model terena, osovine saobraćajnice, podužni profil puta, poprečne profile saobraćajnice, koridore kao i digitalni model terena. Paket nam nudi brojne opcije za podešavanje karakteristika samih entiteta, kao i njihovih stilova za grafički prikaz na crtežu.

Tačke (eng. Points) spadaju u jedan od glavnih i neizostavnih faktora svakog projekta. Koriste se za georeferenciranje pozicije u prostoru. Pomoću njih dobijamo tačno definisano mesto i visinu za ključne površine i objekte na našem projektu kao što su topografija terena, drveće, znakovi, geometrija puta, vodene površine, putni objekti i slično. Tačke možemo da unesemo manuelno pomoću klika miša, ili zadavanjem koordinata u globalnom koordinatnom sistemu, kao što je bio slučaj sa predmetnim projektom, slika 4.



Slika 4. Izgled tačaka sa dostupnim informacijama

Površina (eng. Surface) predstavlja trodimenzionalnu geometrijsku projekciju površi ili zemljišta. Izgrađena je od trouglova ili grid-ova koje formiraju same tačke. Površina terena se dobija triangulacijom svih tačaka koje su prethodno unete u program, a zatim se vrši prilagođavanje površina. Na ovom projektu je bilo bitno striktno definisati ivice postojećeg kolovoza, pešačkih staza, kanala, stambenih objekata kao i svih ostalih površi kako bi podloga za rad bila u potpunosti verodostojna.

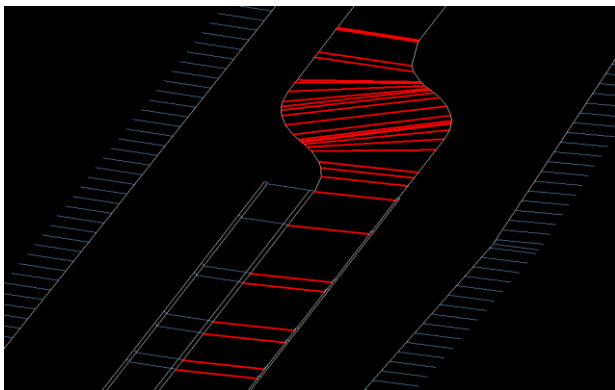
Osovina (eng. Alignment) je osnovni objekat za projektovanje puteva ili bilo kakvih drugih koridora u programu AutoCad Civil 3D. Predstavlja središnje ili ivične linije puteva, cevovoda, kanala i druge građevinske objekte. Prilikom izrade predmetnog idejnog rešenja, osovine su morale biti definisane za ulice Uglješe Terzina i Svetozara Miletića zasebno, kako za kolovoz tako i za pešačke staze. Razlog je taj što se na taj način lakše menjaju segmenti saobraćajnice kojima je u finalnim podešavanjima potrebno promeniti karakteristike kao što su visina, dužina, oblik itd.

Podužni profil predstavlja horizontalnu projekciju osovine naše saobraćajnice. U AutoCAD Civil 3D podužni profil (eng. Profile) je zaseban objekat koji dinamički prati sva eventualna pomeranja osovine u situacionom planu. nivelete unet postojeći kolovoz kao i sve snimljene instalacije, kako bi se rekonstrukcija ulice isplanirala sta što manje komplikacija i neželjenih izmeštanja

podzemnih instalacija usled eventualne horizontalne kolizije sa slojevima kolovozne konstrukcije zbog potrebne visine zaštitnog nadsloja [2].

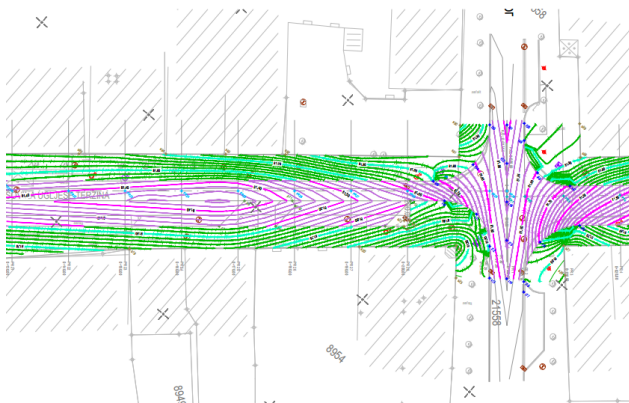
Takođe, bitna stavka prilikom projektovanja ovih gradskih saobraćajnica jeste odvod atmosferskih voda, koji je morao biti definisan podužnim profilom, a zatim i rešen definisanjem najbolje solucije za odvod do kolektora u susednim ulicama, sl. 5.





Slika 7. Trodimenzionalni prikaz koridora

AutoCAD Civil 3D nudi mogućnost naknadnog definisanja i remodeliranja digitalnog modela terena (eng. Grading). [3] Pomoću ove opcije se mogu crtati, najrazličitiji tipovi trdimenzionalnih površi kao što su platoi, trotoari, parkinzi itd. Grading možemo kreirati pomoću linearnih objekata koji čine bazu (eng. Feature lines) ili zatvorenih poligona koji nastaju pomoću njih. Za potrebe ovog projekta, opcija je korišćena za definisanje površi koje nisu ušle u sastav prethodno definisanih koridora kao što su: lepeze raskrsnica, zelene površi i koljski prilazi. Finalna podešavanja ove vrste su neophodna kako bi nivelacioni plan dobio konačan izgled sa međusobno usklađenim elementima saobraćajnice, slika 8.



Slika 8. Nivelacioni plan saobraćajnice

4. ZAKLJUČAK

Razvoj softvera za projektovanje puteva je mnogostruko ubrzao i uprostio proces analize (istraživanja) i projektovanja puteva, i shodno tome, veliki je broj raznih softvera za projektovanje puteva, koji su u principu zasnovani na istoj osnovi.

Glavna pogodnost koju Civil 3D pruža jeste sinhronizovanost koja nam omogućava da se sve promene na crtežu vrše u bilo kojoj fazi projektovanja i da se automatski prenose na sve zavisne elemente projekta i crteža, tako da ne postoji potreba za ručnim ažuriranjem pri svakoj izmeni.

Civil 3D sadrži i brojne alatke i funkcionalnosti koje mu koje nam olakšavaju u rad na projektima ove vrste i pored grafičkog nam pružaju i numeričke podatke sa količinama, dužinama, površinama, kubaturama, itd. Pomoću ovih cifara uz vrlo malo manuelnog angažovanja dobijamo kompletnu numeričku dokumentaciju projekta.

Poslednjih par godina program je napredovao i danas se koristi u rešavanju najsloženijih inženjerskih problema. Ipak, treba biti oprezan prilikom unošenja podataka i dobro razmotriti svaki rezultat dobijen na ovaj način. Takođe treba imati na umu da u projektovanju puteva numerički tačno rešenje, ne znači uvek i dobro rešenje.

5. LITERATURA

- [1] Javno preduzeće Putevi Srbije, „Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji“, Beograd 2011.
- [2] Mihailo Maletin, „Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima“, Orion-Art, Beograd, 2009.
- [3] Tomislav Milićević, „AutoCAD Civil 3D 2011 Tutorial“, Beograd 2011.

Kratka biografija:



Mitar Salapura rođen u Novom Sadu 1988. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Putevi, železnice i aerodromi odbranio je 2022. god.

kontakt: mitarsalapura@gmail.com

МЕТОДОЛОШКЕ ОСНОВЕ ЗА ПЛАНИРАЊЕ И ПРОЈЕКТОВАЊЕ STOL АЕРОДРОМА ЗА МАЛИ САОБРАЋАЈ - ПРИМЕР АЕРОДРОМА „ВЕЛИКИ РАДИНЦИ“**METHODOLOGICAL BASIS FOR PLANNING AND DESIGNING THE STOL OF THE AIRPORT FOR SMALL TRAFFIC - AN EXAMPLE OF THE AIRPORT "VELIKI RADINCI"**

Бојан Зарић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Пројектовање STOL аеродрома помоћу програма Plateia CGS Labs са примером аеродрома Велики Радинци.

Кључне речи: Пројектовање аеродрома, AutoCAD, Plateia CGS Labs

Summary - Designing a STOL airport using the Plateia CGS Labs program with the example of Veliki Radinci airports

Keywords: Airports design, AutoCAD, Plateia by CGS Labs

1. АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА

Циљ спровођења анализе постојећег стања је утврђивање параметара којима се описује постојеће стање аеродрома (локација аеродрома, джина полетно слетне стазе, хоризонтални и вертикални елементи маневарских површина и ПСС, зоне сигурности око аеродрома), коловоза и пратећих објеката аеродрома, као и остали параметри који су значајни за безбедно одвијање ваздушног саобраћаја, нарочито при полетању и слетању ваздухоплова (нпр. климатолошке карактеристике) [1].

Теренским истраживањима, прикупљени су следећи параметри којима је описано постојеће стање аеродрома “Велики Радинци”:

- Геометријске карактеристике аеродромских површина (полетно слетне стазе, рулне стазе, платформе);
- Подаци о врсти застора на аеродромским површинама и његовом стању;
- Подаци о коловозној конструкцији платформе;
- Подаци о одводњавању (површинско, привржено, подземно);
- Подаци о саобраћајном оптерећењу;
- Климатолошке карактеристике;
- Подаци о пратећим објектима на аеродрому.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Милош Шешлија

2. МЕТОДОЛОШКЕ ОСНОВЕ ЗА ПЛАНИРАЊЕ И ПРОЈЕКТОВАЊЕ STOL АЕРОДРОМА ЗА МАЛИ САОБРАЋАЈ**2.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ ВАЗДУХОПЛОВА МЕРОДАВНЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ АЕРОДРОМА ВЕЛИКИ РАДИНЦИ**

Физичке карактеристике аеродрома, димензије његових маневарских површина и стаза, зависе у првом реду од перформанси меродавног авиона и његових димензија, од структуре и фреквенције саобраћаја на том аеродрому и сл.

Перформансе авиона: брзина летења, висина летења, радијус заокрета, потребна дужина за полетање и слетање.

Референтни авион је авион на основу чијих се техничких карактеристика дефинишу елементи један и два референтног кода аеродрома и који:

- захтева највећу дужину полетно слетне стазе (терена), и
- има највећи распон крила и највећи размак између спољашњих ивица точкова главног стајног трапа.

Опште карактеристике				
Посада	1-2	пилота и копилот	/	/
Капацитет	6	путника	/	/
Дужина	10.57	m	34.7	ft
Распон крила	13.01	m	42.7	ft
Висина	3.89	m	12.8	ft
Маса празног авиона	2.209	kg	4.870	lb
Мах. маса приликом полетања	4.082	kg	9.000	lb
Мотори	2x pratt and Whitney PT-6-28 turboprop, 620 shp (462 kW) сваки			
Перформансе				
Мах. крстарећа брзина	393	km/hr TAS	244	mph
Мах. домет (ISA, FL140, резерва горива за 45 min)	2.739	km	1.702	mi
Мах. радна надморска висина (оперативна висина)	8.840	m	29.000	ft
Стопа успона	14.2	m/s	2.800	ft/min

Слика 1. Опште карактеристике и перформансе авиона Piper PA-31 Cheyenne [1]

2.2 КЛАСИФИКАЦИЈА АЕРОДРОМА

Према врсти авиона које аеродроми могу прихватити, деле се на:

- **STOL** аеродроме (*Conventional Take off and Landing*), намењени за стандардне или конвенционалне типове авиона, с полетно слетном стазом (ПСС) дужом од 1.800 m;
- **RTOL** аеродроме (*Reduced Take off and Landing*) код којих се смањује (редукује) потребна дужина ПСС на 1.200 до 1.800 m за нове савремене типове turboprop и turbofan авионе;

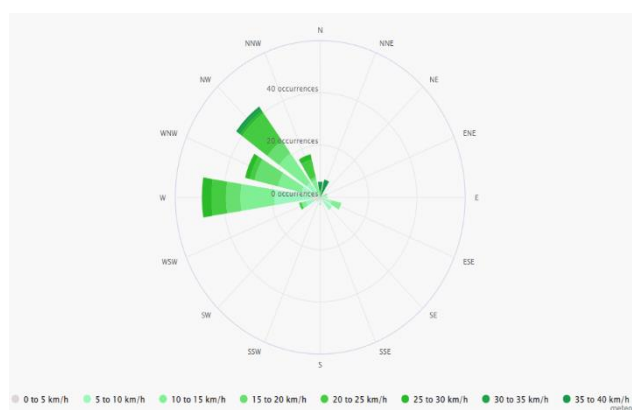
- **STOL** аеродроме (*Short Take off and Landing*) с дужином ПСС од 800 до 1.200 m;
- **VTOL** аеродроме (*Vertical Take off and Landing*) са кратком (тзв. ултракратком) ПСС мањом од 800 m.

У ову групу спадају хидродроми и хелидроми. Аеродром Велики Радинци припада групи **STOL аеродрома** према врсти авиона које може прихватити.

2.3 ЛОКАЦИЈА АЕРОДРОМА И ОРЈЕНТАЦИЈА ПОЛЕТНО СЛЕТНЕ СТАЗЕ

На избор локације аеродрома утичу топографски и метеоролошки услови:

- Топографски услови
- Метеоролошки услови
- Основне метеоролошке појаве и атмосфера
- Температура и притисак ваздуха
- Магла и облаци
- Ваздушна струјања
- Оријентација полетно-слетне стазе



Слика 2. Ружа ветрова за аеродром "Велики Радинци"

2.4 ЕЛЕМЕНТИ СИТУАЦИОНОГ ПЛАНА И ПОПРЕЧНОГ ПРОФИЛА ПОЛЕТНО СЛЕТНЕ СТАЗЕ

Полетно слетна стаза (ПСС) је површина на земљи или води намењена за полетање и слетање авиона (енгл. *Runway*).

Геометрија ПСС и рулних стаза, као и платформи и стајанки дефинисана је према меродавном авиону (авион L 410 UVP-E20 turbolet) за аеродром Велики Радинци.

Избор меродавног авиона зависи од укупне слике циљаних путовања и области коју аеродром треба да покрије.

Фактори који утичу на дужину ПСС су следећи:

- карактеристике меродавног авиона;
- временски услови, нарочито ветар и температура;
- карактеристике ПСС са становишта нагиба и коловозне површине;
- фактори локације аеродрома, надморска висина, топографија;
- околина простора, ефекти барометарског притиска.

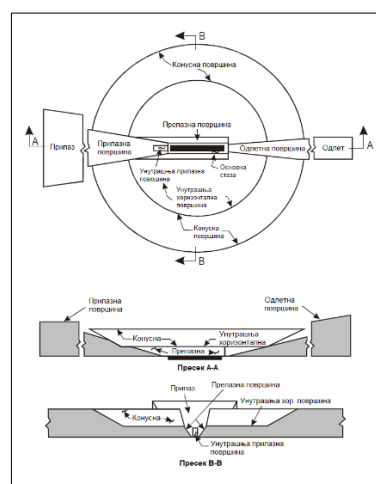
2.5 ЗОНЕ СИГУРНОСТИ ОКО АЕРОДРОМА

Безбедност летења захтева да се на извесном, тачно дефинисаном простору у подручју аеродрома отклоне све природне или вештачке препреке, које би могле представљати опасност за прилаз, слетање или за нормално кретање авиона по коловозу.

Тај простор на земљи и у ваздуху назива се заштићени простор аеродрома и обухвата заштићене ваздушне зоне и заштићене површине на тлу.

Заштита авиона у лету, на ширем подручју аеродрома, обухвата обезбеђење повољних услова за кружење авиона над аеродромом у случају чекања на дозволу за слетање или из неког другог разлога.

Заштита авиона у кретању на земљи обухвата обезбеђење дозвољених површина за рулање и уклањање свих сметњи на одређеним површинама [2].



Слика 3. Површи за ограничење препрека - заштићена зона аеродрома [1]

2.6 ЕЛЕМЕНТИ СИТУАЦИОНОГ ПЛАНА И ПОПРЕЧНОГ ПРОФИЛА РУЛНИХ СТАЗА

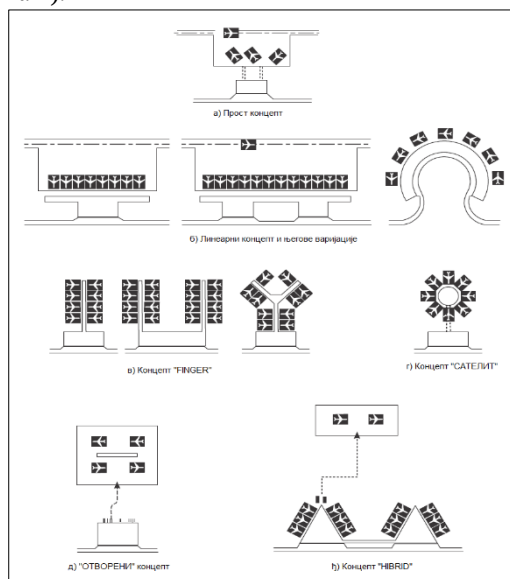
Рулна стаза (РС), је утврђена површина или прилазни коловоз по којим се авиони крећу од полетно слетне стазе (ПСС) до стајанке (платформе) и обратно (енгл. *Taxiway*). Служе за везу ПСС са појединим платформама, односно за међусобну везу платформи.

На аеродрому мора да постоји довољан број улазних и излазних рулних стаза са и на полетно слетну стазу, како би се омогућило брзо кретање ваздухоплова ка полетно слетној стази и од ње, као и да би се омогућило брз излаз на полетно слетну стазу или напуштање исте када је обим саобраћаја повећан.

2.7 ПРИСТАНИШНА ПЛАТФОРМА

Пристанишна платформа за авионе је уређена и прописно означена површина на аеродрому, која омогућава прихват и отпрему авиона, путника, поште и робе, пуњења горива, паркирања и одржавања авиона. По пристанишној платформи за авионе могу се кретати само возила и опрема која је у служби прихвата и отпреме авиона, где учествују разне службе са задатком да у одређеном, кратком временском периоду обаве све неопходне радње,

сигурно и квалитетно. Могући начини формирања пристанишних платформи приказани су на слици (Слика 4).



Слика 4. Могући начини формирања пристанишних платформи [1]

2.8 ПРИСТАНИШНА ЗГРАДА (ТЕРМИНАЛ)

Пристанишна зграда - терминал је намењен за прихват и отпрему путника и робе. Према функцији коју обавља, пристанишна зграда може се поделити у два дела, саобраћајни и технички, који могу бити у истом или раздвојеном објекту. Рад ових служби мора бити координиран.

Саобраћајни део зграде, који је у функцији прихвата и отпреме путника и робе, може се поделити на:

- једноетажне;
- једноипоетажне; и
- двоетажне.

Код аеродрома са малим саобраћајем, до пет авиона истовремено на стајанци, путници се воде до авиона, док се код већег саобраћаја путници превозе аутобусима.

Аеродроми са већим обимом саобраћаја захтевају и већу површину зграде, специјално чекаонице. У приземљу се налазе шалтери за регистрацију путника и пртљага и контроле при одласку. На спрату су остали садржаји, као чекаонице, продавнице, ресторани, тоалети и др.

3. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА СВИХ МАНЕВАРСКИХ ПОВРШИНА НА АЕРОДРОМУ “Велики Радинци”

На аеродрому Велики Радинци пројектоване су следеће маневарске површине под коловозом (крути, флексибилни, стабилизовани и затрављени):

- полетно слетна стаза;
- рулна стаза;
- окретница;
- платформа;
- заштитни појасеви;
- основне стазе.

Одређивање прорачунског броја операција годишње, сведено на меродавни тип авиона

Свођење броја пролаза различитих модела авиона, на број пролаза меродавног (критичног) авиона обавља се према следећем изразу:

$$\log N_1 = \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}} \cdot \log N_2$$

где су:

N_1 и N_2 одговарајући бројеви операција авиона модела 1 и 2 ,а

Q_1 и Q_2 оптерећења по точку авиона.

Табела 1. Категорија саобраћајног оптерећења [2]

Група саобраћајног оптерећења	Укупно еквивалентно осовинско оптерећење од 82 kN (Tu) у пројектном периоду
Врло тешко	$>7 \times 10^6$
Тешко	$2 \times 10^6 - 7 \times 10^6$
Средње	$7 \times 10^5 - 2 \times 10^6$
Лак	$2 \times 10^5 - 7 \times 10^5$
Врло лак	$<2 \times 10^5$

3.1 ПОЛЕТНО-СЛЕТНА СТАЗА, ОКРЕТНИЦА ПОЛЕТНО-СЛЕТНЕ СТАЗЕ И РУЛНЕ СТАЗЕ (ФЛЕКСИБИЛНА КОЛОВОЗНА КОНСТРУКЦИЈА)

Предложено је да коловозна конструкција полетно слетне стазе, окретнице на полетно слетној стази и рулне стазе буде униформног типа, флексибилна коловозна конструкција.

Изабрана је флексибилна коловозна конструкција пре круте из следећих разлога:

- извођење флексибилног застора је брже;
- могући су прекиди у раду на извођењу;
- није потребна нега коловоза после изградње;
- рулање авиона по ПСС је мирније јер нема спојница;
- нема током експлоатације посебно осетљивог проблема одржавања спојница;
- могуће су лакше и брже интервенције у случају оштећења коловоза.

Како ни једна од познатих методе за димензионисање асфалтних коловозних конструкција аеродрома (FFA, FULL-DEPTH) није намењена за авионе чија је укупна маса 6.600 kg, предлаже се коришћење било које од познатих метода за димензионисање флексибилних коловозних конструкција [1].

За димензионисање је коришћена једна од најчешћих метода за димензионисање флексибилних коловозних конструкција која се заснива на емпијској основи, а дата је према важећем стандарду SRPS U.C4.012.

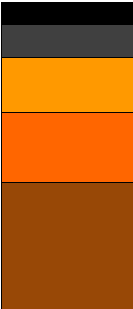
Полазни параметар за прорачун дебљине коловозне конструкције у овој методи је саобраћајно оптерећење (T_m), које је изражено преко броја прелаза еквивалентних стандардних осовина од 82 kN (ECO 82). Како је начин ослањања авион **L-410 UVP-E20 Turbolet**, једноструки трицикл и како главни стајни трап прихвата 95% укупне тежине авиона, врло лако се осовинско оптерећење може превести у стандардно осовинско оптерећење од 82 kN путем генерализованог закона четвртог степена.

На основу генерализованог закона четвртог степена добијамо фактор еквиваленције f_e који помножен са укупним бројем операција полетања меродавног авиона за пројектовани период, представља саобраћајно оптерећење на аеродрому изражено у броју ЕСО. Како је максимално осовинско оптерећење $L_1=62,7$ kN, а број операција полетања $N=20.461$ за пројектни период од 20 година, следи:

$$f_e = \left(\frac{L_1}{80}\right)^4 = \left(\frac{62,7}{80}\right)^4 = 0,3773$$

$$T_m = f_e \cdot N = 0,3773 \cdot 20.461 = 7.720,35$$

$$T_m = 7,72035 \cdot 10^3 \text{ ЕСО } 82\text{kN}$$

	d=4 cm	Асфалт-бетон АБ-11с
	d=7 cm	Битуменизирани носећи слој БНЦ-22 (А)
	d=15 cm	Дробљени камен 0/31,5 mm
	d=20 cm	Дробљени камен 0/63 mm
	d=∞	Постељница (шљунковит песак или прашинаст песак)

Слика 5. Коловозна конструкција полетно-слетне стазе

4. ЗАКЉУЧАК

За аеродром Велики Радинци пре свега треба урадити детаљну саобраћајно-економску анализу како би се утврдила рентабилност инвестирања у аеродром. На основу делимичног прегледа спортских резултата и активности, види се да је аеро клуб „Сремска Митровица“ врло активан и да је нарасла потреба да се створе бољи услови рада, а ту пре свега треба урадити полетно-слетну стазу са савременом подлогом од асфалта која би омогућила летење током целе године, такође створили би се услови и за проширење делатности и намене аеродрома и то:

- повезивање града Сремска Митровица са другим центрима у земљи и у иностранству;
- пољопривредна авијација;
- превоз путника и робе са пословно-комерцијалним летовима;
- развој туризма и спортског туризма;
- таксирање и панорамско летење.

Значај изградње (реконструкције) аеродрома Велики Радинци је пре свега у побољшању привредних активности Општине Сремска Митровица и ширег подручја (Сремски Округ), као и остварења још бољих спортских резултата и популаризације природних локалитета Општине Сремска Митровица и ваздушног саобраћаја.

Општина Сремска Митровица са својом околином и близином Националног парка Фрушке горе богате шумама и пропланцима, идеално место за одмор и разоноду.

Музеј Срема, који по богатству, вредности и реткости експоната, посебно из периода Римског царста спада међу најзначајније установе те врсте у земљи привлачи велику пажњу домаћих и иностраних гостију.

Аеродром се налази на изузетно повољној и приступачној локацији, на само 6 km од аутопуту Е70 (државни пут IА реда - IА1) до којег се стиже локалним путем 103-2 преко петње Сремска Митровица која се налази у северном делу града

На основу наведених чињеница примећује се велики потенцијал новопроектваног аеродрома који нам указује на највероватније остварење рентабилности инвестиције која би у великој мери значила за Општину Сремска Митровица, па и за шири регион.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Скрипта са предавања из предмета “АЕРОДРОМИ” (школска 2017/18), В. проф. др Небојша Радовић,
- [2] Факултет Техничких Наука Универзитета у Новом Саду, Нови Сад 2018 Узелац, Ђ.: Коловозне конструкције, ФТН Издаваштво, Нови Сад, (2015)

Кратка биографија:

Бојан Зарић рођен је у Ивањици 1987. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства – Путеви, железнице и аеродроми одбранио је 2022. год.

kontakt: bojanzaric20@gmail.com

**STRATEŠKO OBLIKOVANJE DISTRIBUTIVNE MREŽE SLUŽBE ZA DOSTAVU -
STUDIJA SLUČAJA****STRATEGIC DESIGN OF THE DELIVERY SERVICE DISTRIBUTION NETWORK -
CASE STUDY**

Nenad Lukić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – LOGISTIKA

Kratak sadržaj – *Strateško odlučivanje podrazumeva proces donošenja odluka dugoročnog karaktera, što predstavlja polazni okvir za taktičko i operativno planiranje. Jedna od najvažnijih odluka na ovom nivou odlučivanja odnosi se na utvrđivanje pozicije jednog ili više objekata tj. na konfiguraciju nekog sistema. U radu opisan je postupak definisanja optimalne lokacije za jedan ili više distributivnih centara, u okviru lanca isporuke pošiljaka jedne nacionalne kurirske službe, na bazi korišćenja široko poznate lokacione metode - gravitacionog modela. Po utvrđivanju optimalne pozicije centara, izračunati su troškovi transporta na bazi realnog rastojanja, s ciljem upoređivanja dobijenih varijanti i realnog postojećeg sistema funkcionisanja.*

Ključne reči: *distribucija na poslednjoj milji, distributivne mreže, lokacioni problemi, gravitacioni model, odlučivanje*

Abstract – *Strategic decision-making implies a long-term decision-making process, which is the starting point for tactical and operational planning. One of the most important decisions at this level of decision-making refers to determining the position of one or more objects, ie. on the configuration of a system. The paper describes the procedure for defining the optimal location for one or more distribution centers, within the delivery chain of a national courier service, based on the use of a well-known location method - gravity model. After determining the optimal position of the centers, the transport costs were calculated on the basis of real distance, with the aim of comparing the obtained variants and the real existing system of functioning.*

Keywords: *last mile distribution, distribution networks, location problems, gravity model, decision making.*

1. UVOD

Tradicionalna kupovina proizvoda podrazumevala je odlazak kupca u odgovarajući trgovinski objekat, fizičku proveru svojstava proizvoda „na licu mesta“ i konačno kupovinu istog. Kasnije su poštanski operatori preuzeli ulogu posrednika u isporuci robe koju bi kupac prethodno poručio putem kataloga, koji su se pojavili u XIX veku.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marinko Maslarić, van. prof.

Danas, u uslovima sve veće tržišne globalizacije i eri elektronskog poslovanja, savremene službe za dostavu pošiljaka predstavljaju jedan od najpopularnijih kanala distribucije, naročito na relaciji kompanija - potrošač. Od njih se očekuje da svojim korisnicima isporuče pošiljke u što kraćem vremenskom roku tj. da ponude uslugu visokog kvaliteta što ih i izdvaja od konkurencije na tržištu prevoza pošiljaka. Međutim, prilagođavanje specifičnim zahtevima korisnika može prouzrokovati visoke troškove, pa je cilj da se odgovarajućom konfiguracijom distributivne mreže troškovi minimiziraju. Mreža se obično organizuje sa jednim ili više većih terminala kojima gravitira veći broj manjih terminala. Dok manji terminali imaju funkciju generisanja odnosno privlačenja pošiljaka, veći terminali uglavnom služe za transformaciju robnih tokova, obavljajući različite logističke procese.

Najčešće korišćena metoda pri definisanju lokacije nekog logističkog objekta je gravitaciona metoda. Gravitacioni model je vrlo koristan i jednostavan metod za strateško utvrđivanje lokacije logističkih i drugih objekata, naročito na makrolokacijskom nivou. Rezultat njegove primene čini polaznu osnovu za definisanje lokacije sa mikrolokacijskog aspekta. Za preciznije rešavanje lokacionih problema kao i za dizajniranje konfiguracije distributivnih mreža, naročito su korisne različite metode operacionih istraživanja koje zahtevaju primenu računara sa jakim procesorima s obzirom na kompleksnost proračuna.

2. SLUŽBE ZA DOSTAVU POŠILJAKA

Dostava pošiljaka predstavlja plaćenu uslugu prevoza materijalnih dobara od pošiljaoca (pojedinaac ili kompanija) do krajnje lokacije – primaoca. U literaturi ne postoji univerzalna definicija ovog pojma; postoje određena tumačenja, zasnovana na poslovanju operatera koji pružaju uslugu dostave, a jedno od njih je definiše kao „isporuku pošiljaka većih od standardnog pisma, ali dovoljno malih da njima može rukovati jedno lice“ [1].

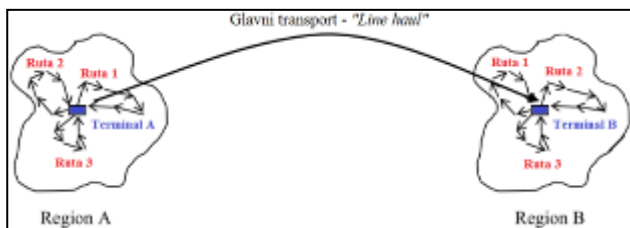
Savremene službe dostave (kao što su: DHL, UPS, FedEx...) u mogućnosti su da ponude širok spektar usluga, prilagođenih specifičnim zahtevima svojih klijenata. To podrazumeva prevoz različitih tipova robe (elektronski delovi, lekovi, pošta, dokumenti, proizvodi koji su osetljivi na vremenske rokove) kao i veoma brzu isporuku (u toku istog ili narednog dana) [2].

Kao posrednik u realizaciji tokova pošiljaka od pošiljaoca do primaoca, služba dostave se smatra jednim od najpopularnijih kanala distribucije, naročito za pošiljaoce većih količina robe [3]. Prema [3], pojednostavljeni

transportni tok pošiljaka u drumskom prevozu (slika 1), sastoji se iz sledećih procesa:

1. Služba dostave sakuplja pošiljke svojim dostavnim vozilima, u više „tura“.
2. Po povratku dostavnih vozila u terminal, pošiljke se sortiraju i utovaraju u prevozna sredstva većeg kapaciteta (DTS).
3. Transport do određišnog terminala/hub-a, što se u literaturi često naziva i „line haul“ (glavni prevoz). Obično je u pitanju linijski transport, zasnovan na određenom redu vožnje. U praksi se može javiti i više usputnih hub-ova, u kojima bi se, takođe, realizovale utovarne/istovarne aktivnosti vozila i sortiranje pošiljaka.
4. Istovar pošiljaka iz DTS i ponovno sortiranje, u zavisnosti od ruta za isporuku.
5. Utovar dostavnih vozila i isporuka do krajnjih korisnika (eng. „last mile“). Ovo je poslednji, najskuplji i, sa aspekta konkurentnosti, najvažniji segment u lancu dostave.

Opisana šema se može primeniti i na druge vidove transporta, s tim da je osnovna razlika tip prevoznog sredstva koji se koristi za glavni prevoz i vrsta terminala [1]. Struktura mreže dostave je obično ograničena po sistemu „hub-and-spoke“ sa jednim centralnim terminalom kome gravitira više manjih terminala.



Slika 1. Šema toka pošiljaka u drumskom transportu[4]

3. PRIMENA GRAVITACIONOG MODELA U REŠAVANJU LOKACIONIH PROBLEMA

Problem utvrđivanja lokacije fabrika, skladišta, distributivnih centara i ostalih logističkih objekata sastavni je deo brojnih disciplina: logistike, transportnih studija, industrijske ekonomije i slično, s obzirom na to da ovakva odluka direktno utiče na operativni uspeh kompanije. Lokacioni problemi, u širem smislu, podrazumevaju utvrđivanje pozicije jednog ili grupe objekata u prostoru određene dimenzionalnosti, dok se, u užem smislu obično radi o lociranju posmatrane tačke u dvodimenzionalnom prostoru, pri čemu se smatra da su dimenzije objekta zanemarljive u odnosu na posmatrani prostor: teritorija grada, regiona, države i slično [5].

Gravitacioni model je matematički model, koji se klasifikuje u statičko-kontinualni model lokacije. Veoma je jednostavan jer se bazira na faktorima poput količine robe i troškova transporta [6]. Definisanjem koordinata tačaka izvora robe i potražnje, zajedno sa količinama robe koju treba transportovati ka objektu nepoznate lokacije, ili obrnuto, kao i jediničnim transportnim troškovima, potrebno je utvrditi lokaciju – koordinate nepoznatog objekta. Cilj je da se minimiziraju ukupni troškovi transporta (TC) u jednoj tački, množenjem jediničnih troškova transporta (R_i) sa količinom robe (V_i) i pređenim rastojanjem od poznate do posmatrane tačke koja pred-

stavlja lokaciju tog objekta (d_i), što se matematički može predstaviti na sledeći način:

$$\text{MinTC} = \sum V_i R_i d_i \quad (1)$$

Polazeći od koordinata izvorišta i potražnje (X_i, Y_i), - lokacija posmatranog objekta ($\bar{X}, \bar{Y}$) dobija se rešavanjem sledećih jednačina:

$$\bar{X} = \frac{\sum V_i R_i X_i / d_i}{\sum V_i R_i / d_i} \quad (2)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum V_i R_i Y_i / d_i}{\sum V_i R_i / d_i} \quad (3)$$

Rastojanje (d_i) se računa primenom naredne formule:

$$d_i = K \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

gde K predstavlja mrežni faktor kojim se jedinica koordinate pretvara u opštu jedinicu (metar ili kilometar).

Proces rešavanja lokacionog problema, primenom gravitacionog modela, je iterativne prirode i obuhvata sledeće korake:

1. Definisanje ulaznih parametara - $X_i, Y_i, V_i R_i$.
2. Proračun približne vrednosti inicijalnih lokacija preko sledeće formule:

$$\bar{X} = \frac{\sum V_i R_i X_i}{\sum V_i R_i} \quad (5)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum V_i R_i Y_i}{\sum V_i R_i} \quad (6)$$

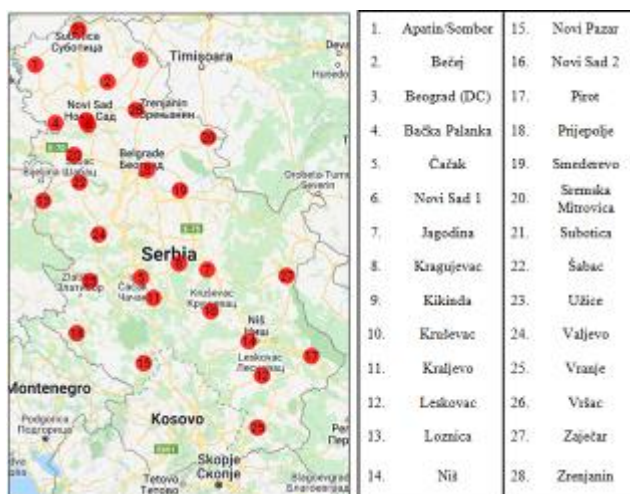
3. Koristeći $\bar{X}$ i $\bar{Y}$ iz prethodnog koraka, računa se d_i prema jednačini (4); faktor K ne mora biti korišćen u ovoj tački.
4. Zameniti d_i u jednačine (2) i (3).
5. Ponovo izračunati d_i pomoću $\bar{X}$ i $\bar{Y}$ koordinata.
6. Ponavljati korake 4 i 5 sve dok se $\bar{X}$ i $\bar{Y}$ koordinate ne promene za uspešnu iteraciju, ili se promene toliko malo da kontinualni proračun ne predstavlja problem.
7. Konačno, radi se proračun ukupnih troškova za najbolju lokaciju, ako je potrebno, koristeći jednačinu (1).

4. ANALIZA DISTRIBUTIVNE MREŽE SLUŽBE ZA DOSTAVU – STUDIJA SLUČAJA

Dostavna služba poseduje 28 poslovnih jedinica, što uključuje glavni distributivni centar lociran u Beogradu i 27 manjih poslovnih centara, raspoređenih širom zemlje. Sa logističkog aspekta, ovaj distributivni centar predstavlja čvorište u kom se realizuju sledeće logističke i transportne aktivnosti – utovar, istovar, razvrstavanje robe po regionima dopreme, identifikacija pošiljaka, merenje mase i ostalo.

Ostale poslovne jedinice gravitiraju tom centru, a služe za akumulaciju pošiljaka, utovar i istovar tzv. linijskih vozila (DTS) i krajnju isporuku – distribuciju pošiljaka.

Slika 2 prikazuje prostorni razmeštaj čvorova u mreži, sa distributivnim centrom u Beogradu, označenim brojem 3.



Slika 2. Prostorni razmeštaj poslovnih jedinica službe za dostavu (autorovo delo)

4.1. Definisanje lokacije distributivnog centra primenom gravitacionog modela

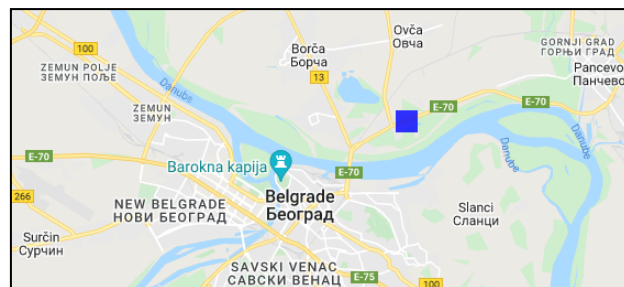
Kao ulazni podaci (tabela 1), za pomenuti model korišćene su sledeće, unapred poznate, veličine:

- Koordinate 28 poslovnih jedinica, izražene u vidu decimalne vrednosti geografske širine (X) i dužine (Y) – preuzeto sa sajta *Google Maps*.
- Veličina robnog toka - V_i , koja predstavlja zbir količina pošiljaka koje svaka poslovna jedinica otpremi i dopremi, na nivou jedne godine.
- Jedinični troškovi prevoza - R_i , izraženi u „dinar/pošiljakm“. Uzeta je fiksna (zadata) vrednost jediničnih troškova i iznosi 1.57 din/pošiljakm.

Tabela 1. Ulazni podaci za gravitacioni model (autorovo delo)

Poslovne jedinice	X_i	Y_i	V_i
Apatin	45.76811393	19.14155379	241368
Bečež	45.61912064	20.03440013	170520
Beograd	44.8493617	20.52799227	3080508
Bačka Palanka	45.25839546	19.39164094	129408
Čačak	43.88814617	20.45814854	382860
Novi Sad 1	45.241780892	19.799928499	510708
Jagodina	43.96023349	21.28246295	249024
Kragujevac	44.01450946	20.92847497	413460
Kikinda	45.81410086	20.44940986	105480
Kruševac	43.58955334	21.32010266	387012
Kraljevo	43.70430165	20.61496616	161652
Leskovac	43.00595213	21.96107009	272184
Loznica	44.57412196	19.23584087	189060
Niš	43.31320565	21.79555187	747948
Novi Pazar	43.11629776	20.48969798	294420
Novi Sad 2	45.28643726	19.77304518	590148
Piroć	43.177782883	22.577923568	106380
Prijepolje	43.38919171	19.64934866	166416
Smederevo	44.66906791	20.93750788	681336
Sremska Mitrovica	44.97958804	19.61861042	233412
Subotica	46.07698599	19.6717623	455736
Šabac	44.74009782	19.69274416	474048
Užice	43.85577382	19.8185343	244092
Valjevo	44.27503142	19.92587864	373452
Vranje	42.52760407	21.90834039	284136
Vršac	45.1323572	21.28796717	129732
Zaječar	43.90247951	22.26457767	305328
Zrenjanin	45.37324194	20.39571182	212556

Primenom programa *Microsoft Excel*, urađeno je ukupno 50 iteracija, uključujući i nultu iteraciju. Primećeno je se da se ukupni troškovi ne snižavaju nakon iteracije pod brojem 47, uz veoma male promene u koordinatama lokacije, pa se smatra da ova iteracija daje optimalno rešenje. Dobijene su sledeće vrednosti koordinata: $\bar{X} = 44.849360261$ i $\bar{Y} = 20.527991853$, što odgovara trenutnoj poziciji distributivnog centra (postojećem stanju) – Beograd, ulica Pančevački put, br. 60 (plavi kvadrat na slici 3). Na ovaj način, egzaktno je potvrđeno da je postojeća lokacija DC posmatrane kompanije dobro definisana.



Slika 3. Potencijalna lokacija distributivnog centra u iteraciji br. 47 (autorovo delo).

Realniji prikaz ukupnih troškova distribucije se dobija tako što se stvarno putno rastojanje između čvora i distributivnog centra pomnoži sa količinom preveznih pošiljaka na godišnjem nivou i jediničnim troškovima prevoza. Na taj način, dobijeno je da ukupni troškovi prevoza, na godišnjem nivou, za slučaj jednog distributivnog centra iznose **2.255.172.000 dinara**.

4.2. Definisanje strukture mreže i lokacije za slučaj dva distributivna centra

Sledeći korak u sprovedenoj analizi podrazumevao je proveru potencijalnog prelaska na distributivnu mrežu sa dva DC. Proračunom rada sa dva DC dobiće se ukupni troškovi distribucije koji će se jednostavno uporediti sa postojećim troškovima, na osnovu čega će se zaključiti da li bi potencijalni prelazak na distribuciju sa dva DC bilo ekonomski opravdano rešenje.

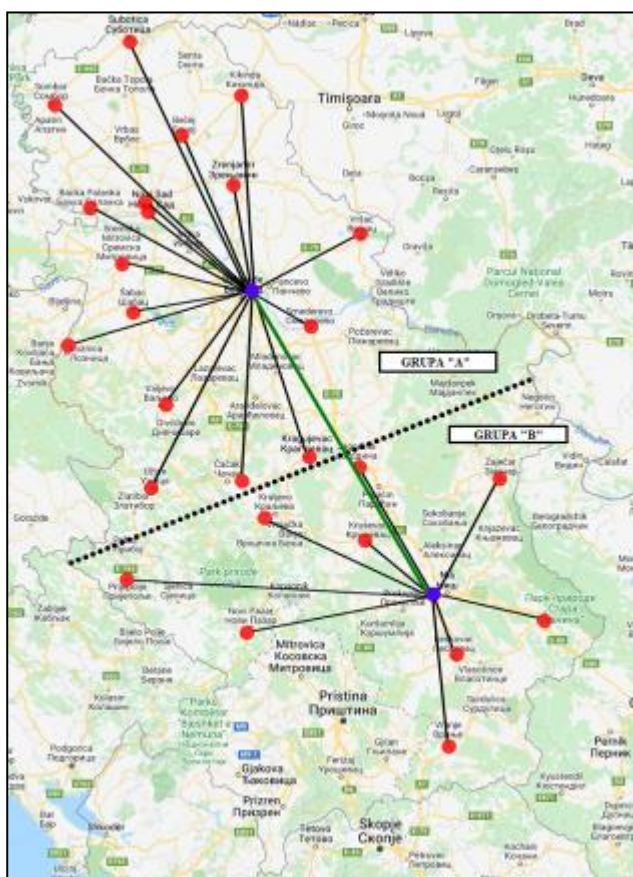
Prethodno opisani postupak utvrđivanja lokacijemože da se koristi i za rešavanje problema izbora dve ili više lokacija u kontinualnom slučaju. Najpre se vrši sortiranje čvorova prema veličini robnog toka od najvećeg ka najmanjem, kako bi se videlo koji čvorovi u mreži generišu najviše pošiljaka u oba smera, te kao takvi mogu biti potencijalni distributivni centri. Konkretno, u pitanju su poslovne jedinice u Beogradu i Nišu. Ostali čvorovi u mreži se razvrstavaju u zavisnosti od toga kom potencijalnom distributivnom centru su bliži, na bazi rastojanja sa *Google Maps*-a.

Za svaki od definisanih grupa („A“ i „B“) traži se centar gravitacije tj. ona lokacija koja daje najmanje troškove. Za čvorove koji pripadaju grupi „A“ urađeno je ukupno 36 iteracija (nulta + 35 iteracija). Iteracija pod brojem 33 daje sledeće koordinate prvog DC-a: $\bar{X} = 44.849361716$ i $\bar{Y} = 20.527991422$, što odgovara lokaciji poslovne jedinice u Beogradu (slika 4).

Za čvorove koji gravitiraju niškoj poslovnoj jedinici (grupa „B“), urađeno je ukupno 62 iteracije (nulta + 61 iteracija). Iteracija pod brojem 59 daje sledeće koordinate DC-a: $\bar{X} = 43.313208111$ i $\bar{Y} = 21.795536573$, što odgovara lokaciji poslovne jedinice u Nišu (slika 4).

Kao i u prethodnom potpoglavlju, troškovi se računaju množenjem rastojanja između čvora i *hub*-a, s brojem preveznih pošiljaka na toj relaciji (u toku jedne godine) i jediničnim troškovima prevoza. Troškovi prevoza za grupu „A“ iznosili su 1.074.807.067 dinara, a za grupu „B“ 407.665.354 din. Međutim, u slučaju mreže sa dva *hub*-a, neophodno je u obzir uzeti i trošak prevoza pošiljaka između njih – trošak „među-rute“ (označena zelenim na slici 4). U ovom slučaju neophodno je imati podatak o broju pošiljaka koje se prevezu između dva distributivna centra; broj pošiljaka koji se preveze između Beograda i Niša iznosi 1.345.344, a u suprotnom smeru 972.708 pošiljaka, što u zbiru daje 2.318.052 pošiljke. Množenjem ove cifre sa realnim putnim rastojanjem između ta dva distributivna centra (245 km) i jediničnim troškovima (1.57 din/pošiljakkm) dobija se ukupni trošak među-rute, koji iznosi 893.543.556 din godišnje.

Konačno, sabiranjem troškova među-rute i troškova prevoza za grupe čvorova „A“ i „B“, dobijaju se ukupni troškovi za slučaj mreže sa dva distributivna centra na godišnjem nivou, i iznose **2.376.015.977 dinara**.



Slika 4. Izgled mreže sa dva distributivna centra (autorovo delo)

Primenom gravitacionog modela za rešavanje problema lokacije, a na osnovu ulaznih parametara u vidu pozicija poslovnih jedinica, veličina robnog toka i jediničnih troškova, pokazalo je se da implementacijom mreže sa dva distributivna *hub*-a troškovi prevoza iznose 2.376.015.977 dinara, što je za 120.843.977 dinara (~5.36%) veće od postojeće varijante sa jednim distributivnim centrom, lociranim u Beogradu. Drugim rečima, ne postoji potreba za uspostavljanjem mreže sa dva distributivna centra!

5. ZAKLJUČAK

U radu je obrađena konkretna studija slučaja u vidu komparativne analize dve varijante distributivne mreže za dostavu pošiljaka posmatrane kompanije, organizovane na bazi klasičnog *hub-and-spoke* sistema. U prvoj varijanti, mreža je organizovana sa jednim distributivnim centrom (*hub*-om), kroz koji prolaze svi tokovi pošiljaka, i većim brojem manjih poslovnih jedinica koji generišu odnosno privlače te pošiljke. Druga varijanta podrazumeva konfiguraciju mreže sa dva distributivna centra.

Dokazano je da je varijanta mreže sa dva *hub*-a skuplja za 5.36% u odnosu na postojeću mrežu sa jednim distributivnim centrom. Iako je razlika relativno niska, uspostavljanje još jednog centra zahtevalo bi i dodatnu nabavku postrojenja za razvrstavanje pošiljaka, kao i potencijalno proširenje postojeće lokacije ili potpunu relokaciju centra, što bi zahtevalo i kupovinu ili zakup novog zemljišta. Konačna odluka o izboru modela distributivne mreže i lokaciji objekata u njoj, treba da se zasniva na sveobuhvatnom sagledavanju brojnih ekonomskih i ostalih faktora i kriterijuma, a ne samo sa aspekta troškova transporta. U tom procesu, od posebne koristi može biti primena višekriterijumske analize, koja u zavisnosti od zadatih kriterijuma i njihove težine, pronalazi najbolje rešenje za dati problem.

6. LITERATURA

- [1] Labiyi, F.G., „How can parcel (package) delivery logistics company re-engineering their process to minimize the high send-again (returns): A study based on UPS (United Parcel services) Delivery Logistic Company in Jönköping Sweden“, Jönköping International Business School, 2018.
- [2] <https://econo-courier.com/quick-history-courier-industry/>
- [3] van der Helm, P., „Competitiveness of Logistics Service Centers in the High Volume Parcel Delivery Market“, Eindhoven University of Technology, 2015.
- [4] Bukumirović, M., Blagojević, M., „Kurirska, ekspres i paketskaskužba i sledljivostpošiljaka u poštanskojlogistici“, Saobraćajnfakultet, Beograd, 2008.
- [5] Vidović, M., Miljuš, M., „Lokacijskiproblemi – značaj, vrste i načinirešavanja“, Saobraćajnfakultet, Beograd, 2004.
- [6] Maslarić, M., Skriptazapredmet „Oblikovanjelogističkihprocessa u lancimasnabdevanja“, Fakultettehničkihnauka, Novi Sad

Kratka biografija:



Nenad Lukić rođen je u Šapcu 1996. god. Tehničku školu Šabac, smer Tehničar drumskog saobraćaja, završava 2015. godine i iste godine upisuje Fakultet tehničkih nauka, departman za saobraćaj i transport u Novom Sadu, na kome u septembru 2019. godine stiče zvanje – diplomirani inženjer saobraćaja.

kontakt: lukicnenad96@gmail.com

**MODEL PROJEKTA JAVNO-PRIVATNOG PARTNERSTVA U OBAVLJANJU
KOMUNALNE DELATNOSTI JAVNOG GRADSKOG I PRIGRADSKOG PREVOZA
PUTNIKA NA TERITORIJI GRADA NIŠA****MODEL OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP PROJECT IN PERFORMING
COMMUNAL ACTIVITY OF PUBLIC URBAN AND SUBURBAN TRANSPORT OF
PASSENGERS ON THE TERRITORY OF THE CITY OF NIŠ**

Dragana Marković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT

Kratak sadržaj – Od najjednostavnijih oblika pa sve do najsavremenijih sistema javnog prevoza, zajedničko im je da prevoze putnike duž unapred definisane trase, za određenu cenu prevoza. Jedan od načina funkcionisanja javnog prevoza je javno privatno partnerstvo. Javno-privatno partnerstvo (JPP) je definisano Zakonom o javnom privatnom partnerstvu i koncesijama kao dugoročna saradnja između javnog i privatnog partnera, radi obezbeđivanja finansiranja, izgradnje, rekonstrukcije, upravljanja ili održavanja infrastrukturnih i drugih objekata od javnog značaja i pružanja usluga od javnog značaja.

Ključne reči: prevoz putnika, javno-privatno partnerstvo

Abstract – From the simplest forms to the most modern public transport systems, they have in common that they transport passengers along a certain route on which that system works, for a certain price of transportation. Public transport of passengers can be alone on the territory of the city or to suburban. One of the ways in which public transport works is a public-private partnership. Public – Private Partnership and Concessions as a long term co-operation between public and private partner, to provide financing, construction, reconstruction, management or maintenance of infrastructure and other facilities of public importance and services of public importance.

Keywords: passenger transport, public-private partnership

1. UVOD

Sistem JGPP spada u osnovne gradske logističke pod-sisteme koji obezbeđuju prisustvo njegovih korisnika kao elemenata proizvodnih i drugih procesa i u vremenu kada i gde je potrebno. Istovremeno predstavlja i privrednu delatnost koja u procesima pružanja usluge angažuje velika sredstva uložena u resurse kao što su vozila, zaposleni, objekti i opremu, energiju, finansije itd. Sve je izvesnije da države i njihovi lokalni nivoi vlasti nisu u mogućnosti da same zadovolje rastuće potrebe za infrastrukturom i uslugama, što iziskuje podršku privatnog sektora kroz razne oblike javnog i privatnog partnerstva.

NAPOMENA:

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

1.1. Geografsko područje grada Niša i njegove karakteristike

U okviru rada razvijen je model JPP za područje grada Niša. Niš je najveći grad u jugoistočnoj Srbiji i sedište Nišavskog upravnog okruga. Nalazi se 237 km jugoistočno od Beograda na reci Nišavi, nedaleko od njenog ušća u Južnu Moravu. Grad Niš zauzima površinu od oko 596,73 km², uključujući Nišku Banju i 68 prigradskih naselja. Geografski, Niš se nalazi na raskrsnici najvažnijih balkanskih i evropskih saobraćajnih pravaca.

Na području Grada Niša je, prema popisu iz 2011. godine, živelo 260.237 stanovnika, dok je u samom naseljenom mestu živelo 183.164 stanovnika, pa je tako po broju stanovnika Niš treći grad po veličini u Srbiji. Prosečna gustina stanovanja na teritoriji Grada Niša je 307 st/km², a prosečna starost stanovništva iznosi 39,4 godina (38,6 kod muškaraca i 40,2 kod žena). U naselju ima 60.753 domaćinstva, a prosečan broj članova po domaćinstvu je 2,85.

2. JAVNO-PRIVATNO PARTNERSTVO

Tradicionalni izvori nedovoljni su za potrebe finansiranja investicija na lokalnom nivou. Angažovanje kapitala privatnog sektora, posredstvom projekata javno-privatnih partnerstava (JPP), rešenje je kojim se nastoji premostiti jaz između realizacije javnih investicija i budžetskih ograničenja lokalnih nivoa javne vlasti. JPP se vezuje za reformu sistema neefikasne državne uprave i ono je alternativa konvencionalnom modelu obezbeđivanja (finansiranja, izgradnje, rekonstrukcije, upravljanja i održavanja) infrastrukturne i pružanja usluga od javnog značaja. Ovaj model zasnovan je na raspodeli resursa, rizika, troškova, odgovornosti i koristi u svim fazama realizacije investicionih projekata, čime se obezbeđuje potencijal za privredni razvoj.

Poslednjih decenija primena koncepta JPP beleži snažan uspon u evropskim zemljama, a odnedavno i u svetu. Gotovo da nema razvijenije zemlje koja nije uvela ovaj model finansiranja javnih investicija.

JPP nemaju jedinstvenu i opšteprihvaćenu definiciju, pre svega zbog kompleksnosti i velikog broja varijanti modela JPP. U srži ovih koncepata jeste dugoročna i kooperativna ugovorna saradnja između javnog i privatnog partnera za potrebe finansiranja javnih investicija (javne infrastrukture i usluga javnog karaktera), koje su tradicionalno u domenu javnog sektora.

2.1. Pojam javno-privatnog partnerstva

Javno-privatno partnerstvo (JPP) je definisano Zakonom o javnom privatnom partnerstvu i koncesijama (Službeni glasnik Republike Srbije br. 88/2011, 15/2016 i 104/2016) kao dugoročna saradnja između javnog i privatnog partnera, radi obezbeđivanja finansiranja, izgradnje, rekonstrukcije, upravljanja ili održavanja infrastrukturnih i drugih objekata od javnog značaja i pružanja usluga od javnog značaja.

Oblik javno-privatnog partnerstva može biti:

1. institucionalni
2. ugovorni
3. koncesija koja predstavlja poseban oblik JPP-a.

Institucionalno JPP se zasniva na odnosu javnog i privatnog partnera kao članova zajedničkog privrednog društva koje je nosilac realizacije projekta JPP-a, pri čemu se taj odnos može zasnivati na osnivačkim ulozima u novoosnovanom privrednom društvu ili na sticanju vlasničkog udela, odnosno dokapitalizaciji postojećeg privrednog društva.

Predmet javno-privatnog partnerstva je izvršenje usluge obavljanja javnog prevoza putnika na teritoriji Grada Niša i to na gradskim i prigradskim linijama u skladu sa elementima rada koji su dati u Studiji koja je izrađena za potrebe organizacije i upravljanja sistemom javnog prevoza.

Predmet ugovora o javno – privatnom partnerstvu bez elemenata koncesije koji će, po sprovedenom postupku javne nabavke, javni partner zaključiti sa privatnim partnerima, je obavljanje komunalne delatnosti gradskog i prigradskog prevoza putnika na teritoriji Grada Niša, kao delatnosti od opšteg interesa, na period od sedam godina.

2.2. Ciljevi javno-privatnog partnerstva

Osnovni cilj JPP-a je organizovanje pružanja usluge prevoza putnika na teritoriji Grada Niša na gradskim i prigradskim linijama, na nivou zahtevanog–projektovanog kvaliteta usluge datog u Studiji javnog gradskog i prigradskog prevoza na teritoriji Grada Niša, koja je izrađena 2019. godine.

Shodno tome, u skladu sa zahtevima ključnih aktera u sistemu (korisnika-putnika, operatora i organa lokalne samouprave), realnim potrebama i mogućnostima grada, treba stvoriti uslove za sprovođenje politike kontinualnog i ravnomernog budućeg razvoja sistema, što predstavlja bitan preduslov za stvaranje održivog sistema javnog masovnog prevoza putnika i sistema „po meri” ključnih aktera.

Da bi sistem JGPP-a uspešno funkcionisao, moraju se urediti odnosi tako da se zadovolje i zahtevi pojedinih društvenih grupa od uticaja na ovaj sistem.

3. POSLOVNI PLAN, FINANSIJSKA PRIHVATLJIVOST JPP-a, FINANSIRANJE PROJEKTA I RASPODELA RIZIKA

3.1. Osnovne karakteristike postojećeg sistema javnog prevoza

Sistem javnog masovnog prevoza putnika na teritoriji Grada Niša zasnovan je samo na autobuskom podsistemu. Mrežu gradskih linija čini 13 linija, ukupne dužine 130,29 kilometara.

Mrežu prigradskih linija čini 38 linija, ukupne dužine 644,11 kilometara. Posmatrano u odnosu na uže gradsko područje (naselje Niš), postojeće prigradske linije prema pružanju trase se mogu okarakterisati kao radijalne ili kružne. Trasa linije broj 35 PAS - Bubanj selo - Gornje Međurovo - PAS spada u kružne linije. Trasa linije broj 23K PAS - Vukmanovo - Berbatovo - PAS u prvom delu trase je radijalna, a u drugom delu formira zatvoreni krug između naselja Vukmanovo – Berbatovo – Gabrovac manastir. Linija broj 23K funkcioniše bez prekida u poluovertu. Ostale prigradske linije su radijalnog karaktera, odnosno povezuju prigradsko naselje sa užim gradskim područjem.

4. PROCENA TROŠKOVA I ANALIZA DOBIJENE VREDNOSTI U ODNOSU NA ULOŽENA SREDSTVA

Utvrđivanje dobijene vrednosti u odnosu na uložena sredstva (utvrđivanje „vrednosti za novac“) je primena analitičkog postupka u okviru koga se nastoji kvantitativnim putem utvrditi da li je od veće koristi da se primeni tradicionalni model investiranja u kome se javno telo pojavljuje u ulozi investitora, preuzimajući sve ili pretežan deo rizika javne investicije, ili im se više isplati da nabave uslugu od ponuđača iz privatnog sektora, prenoseći većinu rizika na njega, kada se radi o javno-privatnom partnerstvu.

4.1. Model JPP u varijanti sa paketima linija

U teoriji i praksi postoje dva načina obračuna troškova amortizovanja osnovnih sredstava, samim tim i autobusa kao osnovnog sredstva prevoznika: vremenski i funkcionalni. U Srbiji je uglavnom u primeni vremenski metod utvrđivanja troškova amortizacije, odnosno na utvrđenu vrednost vozila primenjuje se zakonom propisana minimalna amortizaciona stopa koja za autobuse iznosi 15 %. Ako se primeni stopa amortizacije od 15 %, to znači da će u sedmogodišnjem periodu amortizacija biti potpuna i u slučaju nabavke novih vozila. Iz praktičnih razloga, u obračunu je korišćena degresivni metod obračuna amortizacije autobusa.

4.2. Tradicionalni model

Jedan od oblika i načina organizovanja sistema javnog gradskog i prigradskog prevoza je i model regulisanog transportnog tržišta. Ovaj model je karakterističan za slučaj kada grad osnuje svoje javno komunalno preduzeće i poveri mu obavljanje prevoza. Grad Niš je osnovao JKP Direkciju za javni prevoz, kojoj je poverio funkciju organizacije i upravljanja prevozom, na teritoriji Grada Niša. U postojećim uslovima, Direkcija ne raspolaže osnovnim i obrtnim sredstvima, neophodnim za realizaciju transportne usluge na kompletnoj mreži linija.

Analiza i projekcija ostvarivanja prihoda i nastanak troškova izvršena je po istom principu kao i u varijanti stvaranja javno-privatnog partnerstva između Direkcije, sa jedne strane, i privatnih operatera, sa druge strane. Očekuje se da će prihodi u obe analizirane varijante biti identični, odnosno da će se zadržati isti broj prevezenih putnika po vrstama karata.

4.3. Finansiranje projekta

Prilikom analiza vezanih za procenu troškova i analiza dobijene vrednosti u odnosu na uložena sredstva (value-for-money), detaljno je obrađeno finansiranje projekta JPP-a, za ceo vek trajanja.

Finansiranje projekta je planirano iz stabilnih izvora, koji se realizuju od naplate usluga prevoza, tj. prihodima od tarifa i delom prihoda koji će se ostvarivati kroz subvencije iz budžeta Grada Niša. Ovde posebno napominjemo da je u periodu trajanja projekta potrebno vršiti uobičajne kontrole, kako bi se zadržao stabilan izvor prihoda od tarifa. Poboľšanjem kvaliteta prevozne usluge, očekuje se povećanje broja prevezenih putnika a samim tim i povećanje prihoda.

5. PREGLED USLOVA, ZAHTEVA I NAČINA OBZBEĐENJA INFRASTRUKTURE I USLUGA KORISNICIMA OD STRANE PRIVATNOG PARTNERA

Da bi privatni partner mogao da učestvuje u sistemu javnog prevoza u Nišu, mora da ispuni određene uslove. Osnovni uslov za obavljanje delatnosti je posedovanje odgovarajućeg voznog parka. U skladu sa definisanom mrežom linija i paketima, konkursnom dokumentacijom biće određeni tipovi, kapaciteti i broj angažovanih vozila, koji svaki od privatnih partnera mora da poseduje.

Pored navedenih uslova u vezi voznog parka, privatni partner je u obavezi da u radnom odnosu ima potreban broj vozača, u skladu sa brojem vozila i radnim vremenom vozila na linijama odgovarajućeg paketa.

Takođe, jedan od neophodnih uslova za obavljanje prevoza je i posedovanje odgovarajuće autobaze za smeštaj vozila, u skladu sa brojem i tipom potrebnih vozila, bilo u sopstvenom vlasništvu ili iznajmljenom po osnovu ugovora o zakupu. Sva vozila kojim konkurišu privatni partneri moraju imati opremu koja je propisana u opštim uslovima za vozila.

6. ZAKLJUČAK

Finansijske i druge analize pokazuju da je na području grada Niša najracionalnije organizovati sistem javnog prevoza kao jedan od oblika javnog privatnog partnerstva. Da bi se realizovalo javno privatno partnerstvo neophodno je unapred definisati obim rada na linijama i način i uslove njihovog ustupanja privatnim partnerima.

Analizom ekonomskih pokazatelja, za unapred definisan nivo kvaliteta prevozne usluge, došlo se do zaključka da prihodima ostvarenih iz tarife nije moguće pokriti troškove rada vozila na linijama. Nedostajuća sredstva koja se dobijaju kao razlika između troškova rada prevoznika (privatni partneri) i prihoda ostvarenih od tarife nadomestiće se iz budžeta grada Niša.

Da bi se realizovalo JPP neophodno je unapred definisati sve detalje koji se tiču rada vozila na linijama kao što su:

- Broj i vreme polazaka za svaku liniju,
- Potreban broj vozila za realizaciju planiranog obima prevoza,
- Uslovi za prevoznike u pogledu kadrovske i tehničke opremljenosti,
- Planirani broj kola kilometara,
- Jedinična cena za obračun jednog kola km,
- Način i realizacija prodaje karata,
- Način kontrole realizacije planiranog nivoa usluge i sl.

Javnim privatnim partnerstvom omogućava se realizacija komunalne delatnosti javnog prevoza putnika na teritoriji grada Niša bez kapitalnih ulaganja javnog partnera.

Uloga javnog partnera je da stvori uslove za efikasno funkcionisanje prevoza i da nadomesti nedostajuća sredstva kako bi se očuvao kvalitet usluge i stabilnost njenog pružanja.

Uloga privatnog partnera je organizacija i sprovođenje planiranog reda vožnje kao i prodaja karata u vozilima.

7. LITERATURA

- [1] „Model projekta javno privatnog partnerstva u obavljanju komunalne delatnosti javnog gradskog i prigradskog prevoza putnika na teritoriji grada Niša“, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 2019. godine
- [2] R. Banković „Organizacija i tehnologija javnog gradskog putničkog prevoza“ Saobraćajni fakultet Beograd 1994.
- [3] Tica S. „Transportne potrebe i transportni zahtevi – slajdovi sa predavanja“, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd, 2015.

Kratka biografija:



Dragana Marković, rođena je 1992. godine u Novom Sadu. Srednju saobraćajnu školu „Heroj Pinki“ završila je 2011. godine. Osnovne diplomatske studije iz oblasti Saobraćaja i transporta upisala je 2011. godine i završila je 2016. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

UTICAJ IZMENE REŽIMA SAOBRAĆAJA NA KVALITET USLUGE - STUDIJA SLUČAJA LINIJA BROJ 2 NOVI SAD**THE IMPACT OF CHANGE IN THE TRAFFIC REGIME ON THE QUALITY OF SERVICE - CASE STUDY OF LINE NUMBER 2 IN NOVI SAD**

Maja Romandić, Pavle Pitka, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SAOBRAĆAJNO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – Povremeno zatvaranje pojedinih delova ulične mreže u gradu dovodi do potrebe za izmenama režima saobraćaja, a između ostalog i do promena trasa pojedinih linija. Privremene, nove trase linije u zavisnosti od situacije predstavljaju manju ili veću devijaciju u odnosu na postojeću trasu, što može različito da utiče na kvalitet usluge. Takođe, ulična mreža često dozvoljava više varijanti trasa jedne linije. U okviru ovog rada biće predstavljena analiza uticaja izbora varijantnih rešenja na kvalitet usluge javnog gradskog prevoza putnika.

Ključne reči: Javni prevoz, kvalitet usluge, vreme vožnje putnika

Abstract – The occasional closure of certain parts of the street network in the city leads to the need for changes in the traffic regime, and among other things, to changes in the routes of certain lines. Depending on the situation, the temporary, new route of the line represents a smaller or larger deviation in relation to the existing route, which can affect the quality of service differently. Also, the street network often allows multiple route variants of a single line. This paper will present an analysis of the impact of the choice of variant solutions on the quality of the public urban passenger transport service.

Keywords: Public transport, quality of service, passenger riding time

1. UVOD

Sistem javnog gradskog prevoza putnika (JGPP) je veoma složen sistem sa složenom strukturom više tehnoloških i organizacionih podсистema. Ovakav sistem je jedan od najznačajnijih i najsloženijih podсистema grada i prema svojoj strukturi zahteva strogo poštovanje i primenu metoda i procedura sistemskih nauka i teorije upravljanja. Takođe, istovremeno predstavlja i privrednu delatnost koja angažuje velika sredstva uložena u resurse: vozila, zaposlene, objekte i opremu, energiju, finansije itd.

Zbog povremenih planiranih ili neplaniranih radova na uličnoj mreži u gradu javlja se potreba za izmenama režima saobraćaja. Ove izmene mogu da naprave značajne probleme u funkcionisanju saobraćaj jednog grada, između ostalog zahtevaju i izmenu trase linija JGPP-a.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Pavle Pitka, vanr. prof.

U zavisnosti od konkretne situacije i privremenih rešenja, izmena trase određene linije može u manjoj ili većoj meri da utiče na kvalitet usluge sistema JGPP-a. Izmenjena trasa linije pored prostorne pristupačnosti u zavisnosti od projektovanih dinamičkih elemenata može značajno da utiče na vreme čekanja putnika, vreme vožnje, kao i na fizičku integraciju sa drugim linijama ili podsystemima JGPP-a.

U okviru ovog rada predstavljen je uticaj izmene režima saobraćaja na organizaciju prevoza i kvalitet usluge na liniji broj 2 u Novom Sadu za slučaj zatvaranja Jevrejske ulice, u delu od raskrsnice sa Bulevarom oslobođenja do raskrsnice sa Bulevarom Mihajla Pupina. U radu su predstavljeni statički i dinamički elementi linije, a na osnovu transportnih zahteva projektovane su varijante rešenja. Za projektovane varijante vrednovan je uticaj izmene trase na prostornu pristupačnost i vreme vožnje putnika. Sve analize su urađene za jedan radni dan zimskog reda vožnje.

2. STATIČKI I DINAMIČKI ELEMENTI LINIJE

Zbog svoje masovnosti javni gradski prevoz putnika uglavnom se organizuje linijski. Linijski prevoz putnika predstavlja specifičan vid prevoza, u kome vozila cirkulišu između dve krajnje stanice (terminusa) po unapred utvrđenoj trasi i redu vožnje, zaustavljajući se pri tome na svim stajalištima na kojima putnici ulaze i izlaze iz vozila. Prema položaju trase linije u odnosu na centralno gradsko urbano područje linije se mogu klasifikovati kao: radijalne linije, dijametralne linije, tangencijalne linije, kružne linije i periferne linije [1].

Ukoliko se linija posmatra kao sistem, kada se govori o upravljanju, postoje dve grupe elemenata kojima se kvantitativno definiše linija masovnog transporta putnika u prostoru i vremenu, a to su:

- Statički elementi linije,
- Dinamički elementi linije.

2.1 Statički elementi linije

Statički elementi predstavljaju preduslov za funkcionisanje javnog gradskog prevoza putnika, kao i postizanje odgovarajućeg kvaliteta prevoznih usluga i efikasnosti transportnog rada celokupnog sistema.

Trasa linije javnog gradskog prevoza putnika je unapred utvrđena putanja kojom se kreću vozila javnog prevoza između dva terminusa. Trasa linije određuje se na osnovu prethodno utvrđenih potreba (zahteva) putnika [3].

Dužina linije broj 2 iznosi 4820 m, za smer A, i sastoji se od 13 stajališta, dok za smer B, do Novog Naselja, dužina linije iznosi 5047 m i sastoji se od 12 stajališta. Trasa linije broj 2 prikazana je na Slici 1.



Slika 1. Trasa linije broj 2 u Novom Sadu

Terminusi predstavljaju početnu i završnu tačku kretanja vozila duž linije. Terminusi se najčešće izvode sa okretnicom, kao što je slučaj sa linijom broj 2.

Stajališta predstavljaju prostor za zaustavljanje vozila javnog gradskog prevoza putnika, koja su prilagođena i organizovana za ulazak i izlazak putnika i koja moraju da omoguće prostor za bezbedno čekanje putnika [3]. Linija broj 2 ima 13 stajališta u smeru A, dok u smeru B ima 12 stajališta. Na svim stajalištima autobusi obavezno staju bez obzira da li na stajalištu ima putnika za ulaz ili izlaz. Broj stajališta na liniji zavisi od prosečnog međustaničnog rastojanja. Prosečno međustanično rastojanje na liniji 2 iznosi 429 metara.

2.2 Dinamički elementi linije

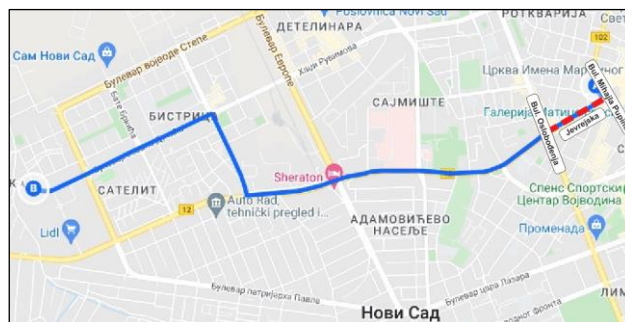
Dinamički elementi linije utvrđuju se redom vožnje, a koji se menjaju periodično, u skladu sa promenama prevoznih zahteva na liniji. Dinamički elementi istovremeno predstavljaju i značajne parametre kvaliteta javnog gradskog prevoza putnika. Osnovni dinamički elementi linije su [3]: broj vozila na liniji u karakterističnom periodu; vreme obrta; interval i frekvencija vozila na liniji; prevozna sposobnost linije u karakterističnom periodu i brzina vozila. Dinamički elementi linije broj 2, u postojećem stanju, predstavljeni su u Tabeli 1.

Tabela 1. Dinamički elementi linije broj 2 u Novom Sadu

Dinamički elementi linije	Vršno opterećenje	Vanvršno opterećenje	Noćni period
Broj vozila	7	4	2
Vreme obrta [min]	56	48	44
Interval sledenja [min]	8	12	22

3. PROJEKTOVANJE STATIČKIH I DINAMIČKIH ELEMENATA PO VARIJANTAMA

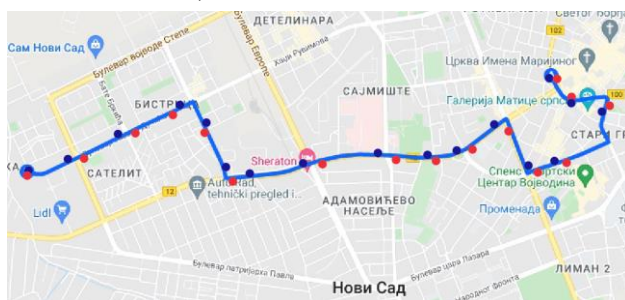
U slučaju zatvaranja Jevrejske ulice, u delu od raskrsnice sa Bulevarom Mihajla Pupina do raskrsnice sa Bulevarom oslobođenja (Slika 2), potrebno je izvršiti izmenu trase linije broj 2. Prilikom izmene trase linije neophodno je voditi računa o tome da se održi postojeći nivo usluge, te se iz tog razloga postavlja niz kriterijuma kojih se treba pridržavati.



Slika 2. Zatvaranje deonice u Jevrejskoj ulici

Varijanta „Maksima Gorkog“

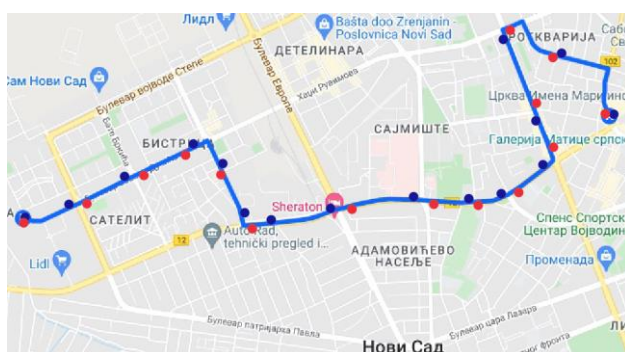
Stajališta koja bi bila korišćena prilikom predložene varijante trase linije broj 2 „Maksima Gorkog“ već su izgrađena i ne bi postojali dodatni troškovi otvaranja privremenih stajališta. Stajališta ove varijante predstavljena su na Slici 3. Na slici su plavom bojom prikazana stajališta koja bi koristila vozila u smeru A, dok su crvenom bojom predstavljena stajališta koja bi vozila koristila u smeru B. Ukupna dužina trase za varijantu „Maksima Gorkog“ u smeru A je 6494 metara, dok je u smeru B 6610 metara, što znači da je trasa nove linije u odnosu na postojeću trasu linije broj 2 duža za 1674 metara u smeru A, odnosno 1563 metra u smeru B.



Slika 3. Varijanta „Maksima Gorkog“

Varijanta „Vojvode Bojovića“

Stajališta koja bi bila korišćena prilikom predložene varijante trase linije broj 2 „Vojvode Bojovića“ već su izgrađena i ne bi postojali dodatni troškovi otvaranja privremenih stajališta. Stajališta ove varijante predstavljena su na Slici 4.



Slika 4. Varijanta „Vojvode Bojovića“

Na slici su plavom bojom prikazana stajališta koja bi koristila vozila u smeru A, dok su crvenom bojom predstavljena stajališta koja bi vozila koristila u smeru B. Ukupna dužina trase za varijantu „Vojvode Bojovića“ u smeru A je 6679 metara, dok je u smeru B 6708 metara, što znači da je trasa nove linije u odnosu na postojeću

trasu linije broj 2 duža za 1859 metara u smeru A, odnosno 1661 metar u smeru B.

Dinamički elementi linije broj 2 su projektovani tako da se zadrže postojeći intervala sleđenja vozila, dok su ostali dinamički elementi prilagođeni intervalu (Tabela 2.).

Tabela 2. Dinamički elementi linije broj 2 u postojećem stanju i po varijantama

Dan	Vršno opterećenje	Vanvršno opterećenje	Noćni period	Vršno opterećenje	Vanvršno opterećenje	Noćni period	Vršno opterećenje	Vanvršno opterećenje	Noćni period
	Postojeće stanje			Varijanta „Maksima Gorkog“			Varijanta „Vojvode Bojovića“		
Vreme obrta [min]	56	48	44	74	64	58	76	65	60
Interval sleđenja [min]	8	12	22	8	12	22	8	12	22
Broj vozila	7	4	2	10	6	3	10	6	3
Frekvencija [voz/h]	8	5	3	9	6	4	8	6	3

Poređenjem se može zaključiti da je kod varijante „Maksima Gorkog“ vreme obrta u odnosu na postojeće vreme obrta na liniji broj 2 u vršnom opterećenju veće za oko 17 minuta, u vanvršnom periodu veće za oko 16 minuta i u noćnom periodu veće za oko 14 minuta, dok je kod varijante „Vojvode Bojovića“ u vršnom opterećenju veće za oko 18 minuta, u vanvršnom periodu veće za oko 17 minuta i u noćnom periodu veće za oko 16 minuta.

Broj vozila na radu u odnosu na broj vozila u postojećem stanju u varijanti „Maksima Gorkog“ u vršnom periodu se povećao sa 7 vozila na 10 vozila, u vanvršnom periodu se povećao sa 4 vozila na 6 vozila i u noćnom periodu se povećao sa 2 vozila na 3 vozila, dok se broj vozila na radu varijanti „Vojvode Bojovića“ u vršnom periodu se povećao sa 7 vozila na 10 vozila, u vanvršnom periodu se povećao sa 4 vozila na 6 vozila i u noćnom periodu se povećao sa 2 vozila na 3 vozila.

4. VREDNOVANJE KVALITEA USLUGE

Kvalitet usluge, prema standardu 1/191-19-01, definiše se kao opšti efekat svojstva usluge koji određuje stepen zadovoljenja (potreba) korisnika usluge, pri čemu se naglašava da kvalitet usluge određuje kompleks svojstava kvalitete [4]. Kako se prevozna usluga odlikuje mnogim specifičnostima, kao najprihvatljivije struktuiranje svojstava kvaliteta može se smatrati [4]:

- organizacijska podrška usluge,
- pogodnost usluge za korišćenje,
- raspoloživost usluge,
- stabilnost usluge,
- proizvodna sposobnost sistema i
- eksploataciona pouzdanost tehničke eksploatacije.

Raspoloživost usluge, kao svojstvo kvaliteta sistema i usluge, može se definisati kao spremnost sistema javnog masovnog transporta putnika da izvrši uslugu, u trenutku kada je zahtevana od korisnika, i kontinualno nastavi i dalje da je obezbeđuje u zahtevanom vremenu trajanja, u zadatim tolerancijama i drugim zadatim uslovima [4].

Svojstvo pristupačnosti usluge može se podeliti na dva podsojstva:

- pristupačnost u vremenu,
- pristupačnost u prostoru.

Ocena navedenih podsojstva može se izvršiti kvantitativnim pokazateljima koji se koriste u fazi optimizacije strukture i funkcionisanja linije, odnosno kao ulazni parametri u fazi projektovanja linije javnog masovnog transporta putnika.

4.1. Prostorna pristupačnost

Prema predloženim varijantama izmene režima saobraćaja na liniji broj 2 u Novom Sadu vozila ne staju na stajalište (0337B) Jevrejska/Bul. oslobođenja.

Broj stajališta u postojećem stanju linije 2 u smeru A je 13, dok je u smeru B 12 stajališta. U varijanti „Maksima Gorkog“ ukupan broj stajališta je 33, odnosno 8 stajališta više nego u postojećem stanju linije. U varijanti „Vojvode Bojovića“ ukupan broj stajališta je 31, odnosno 6 stajališta više nego u postojećem stanju linije (Tabela 3.).

Tabela 3. Promena statičkih elemenata po varijantama

Pristupačnost u prostoru	Postojeće stanje		Varijanta „Maksima Gorkog“		Varijanta „Vojvode Bojovića“	
	Smer A	Smer B	Smer A	Smer B	Smer A	Smer B
Dužina linije	4820	5047	6494	6610	6679	6708
Broj stajališta na liniji	13	12	17	16	16	15
Broj stanica po km linije	2,7	2,4	2,6	2,4	2,4	2,3
Prosečno međ. stan. rast.	402	459	406	441	446	480

Napomena: Dužina linije i prosečno međustanično rastojanje je dato u metrima

Stajalište Jevrejska/Bul. oslobođenja je jedino autobusko stajalište u Jevrejskoj ulici. Kao zamena za ovo stajalište u obe varijante se koriste bliska stajališta na drugim prilazima raskrsnice ulica Bul. oslobođenja /Jevrejska /Futoška. Rastojanja između privremeno ukinutog i zamenskih stajališta po varijantama iznose: 90 metara za varijantu „Vojvode Bojovića“ i 110 metara za varijantu „Maksima Gorkog“. S obzirom da navedena rastojanja nisu velika i činjenice da su gravitaciona područja stajališta oko 500 metara, može se zaključiti da navedene izmene u obe varijante ne narušavaju postojeću prostornu pristupačnost transportne usluge, već je samo proširuju sa novim stajalištima.

4.2. Vreme vožnje putnika

Dužina trase linije broj 2 u obe analizirane varijante je značajno produžena u odnosu na postojeću dužinu trase. U varijanti „Maksima Gorkog“ dužina trase linije broj 2 posmatrano kumulativno za oba smera iznosi 13,1 kilometar, što je za 3,2 kilometra (32,3%) više u odnosu na postojeću trasu linije broj 2, dok u varijanti „Vojvode Bojovića“ dužina trase kumulativno za oba smera iznosi 13,4 kilometar, što je za 3,5 kilometra (35,4 %) više u odnosu na postojeću trasu linije broj 2 (Tabela 3.).

Na osnovu navedenih izmena u obe varijante, zaključuje se da se trasa linije broj 2 značajno produžila, što jednom broju putnika značajno produžava vreme vožnje. S obzirom da se izmena trase linije vrši na deonici između prvog i drugog stajališta na liniji, uticaj ove izmene je samo na putnike koji u smeru A kreću sa prvog stajališta u centru (Uspenska/Šafarikova) ili u smeru B završavaju na poslednjem stajalištu u centru (Uspenska/Pozorišni trg).

Na predmetnoj deonici u smeru A preveze se 1071 putnik na dan, a u smeru B 989 putnika na dan (Tabela 4.). Izmjena režima saobraćaja na liniji broj 2 usled zatvaranja

Jevrejske ulice će imati uticaj na vreme vožnje 2060 putnika. Ostali putnici na liniji neće imati promenu u kvalitetu prevozne usluge nakon zatvaranja Jevrejske ulice.

Tabela 4. Raspodela protoka putnika duž linije broj 2 u toku dana[2]

Smer A		Smer B	
Naziv stajališta	Protok	Naziv stajališta	Protok
Uspenska/Šafarikova	1071	N.Naselje/Okretnica	337
Futoška/Bul. oslobođenja	1792	Bul. J. Dučića/Igralište	618
Futoška/B. Nušića	1910	Bul. J. Dučića/B. Brkića	963
Futoška/Jodna Banja	1890	Bul. J. Dučića/Mladost	1334
Futoška/Bolnica	1808	Bul. S. Jovan./D.zdravlja	1604
Futoška/Bul. Evrope	1649	Futoški put/Vršačka	1750
Futoška/Jugoalat	1585	Futoška/Higijenski zavod	1895
Bul.S.Jovanovića/Fut.put	1541	Futoška/Cara Dušana	1944
Bul.S.Jovanovića/B. Bor.	1259	Futoška/Antona Čehova	1971
Bul.J.Dučića/Bul.S.Jovan.	913	Futoška/Braće Ribnikar	1787
Bul.J.Dučića/B. Dronjak	606	Jevrejska/B.oslobođenja	989
Bul. J. Dučića/Igralište	354	Uspenska/Pozorišni trg	0
N. Naselje/Okretnica	0	/	/

Napomena: Jedinica za protok putnika je putnik/dan.

Produženo vreme vožnje putnika je utvrđeno na osnovu postojećih statičkih i dinamičkih elemenata linije broj 2 i novoprojektovanih elemenata za obe varijante. Proračun je izvršen u nekoliko koraka (jedančine 1-3), a dobijene vrednosti su date u tabeli 5.

$$T_p = \frac{T_o - t_1 - t_2}{2} \quad (1)$$

$$v_p = \frac{L}{T_p} \quad (2)$$

$$t_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{v_p} \quad (3)$$

gde je:

T_p – vreme putovanja vozila,

T_o – vreme obrta,

t_1, t_2 – vreme terminiranja,

v_p – prevozna brzina,

L – dužina linije,

$l_{i,j}$ – rastojanje između stajališta „i“ i „j“,

$t_{i,j}$ – vreme vožnje putnika između stajališta „i“ i „j“.

Tabela 5. Dodatno vreme vožnje putnika

	T_p [min]	v_p [km/h]	$t_{i,j}$ [min]
Postojeće stanje	23	12,9	3
Varijanta „Maksima Gorkog“	32	12,3	11
Varijanta „Voj. Bojovića“	33	12,2	12

Nakon zatvaranja Jevrejske ulice vreme vožnje za putnike koji započinju ili završavaju svoje putovanje linijom broj 2 na stajalištu u centru Novog Sada se produžava za 8 do 9 minuta u zavisnosti od izabrane varijante. Ovo predstavlja značajnu devijaciju trase. Vreme pešačenja između predmetna dva stajališta na zatvorenoj deonici je kraće od produženog vremena vožnje. Zaključuje se da će mnogi putnici za vreme rekonstrukcije Jevrejske ulice menjati svoje navike, između ostalog i izlaskom iz vozila stajalište ranije i dužim pešačenjem stizati do cilja.

5. ZAKLJUČAK

Za slučaj zatvaranja Jevrejske ulice u Novom Sadu izvršena je analiza mogućih rešenja izmene režima saobraćaja na linije broj 2 sa ciljem minimalnih odstupanja od postojećeg kvaliteta usluge JGPP-a.

Karakteristična ulična mreža Novog Sada i ograničenja uličnih profila su suzili moguća rešenja na 2 varijante sa značajnim devijacijama trase.

Detaljnou analizom predloženih varijanti utvrđeno je da se u obe varijante zatvara se samo jedno stajalište (u Jevrejskoj ulici u smeru B). U varijanti „Maksima Gorkog“ broj novih stajališta iznosi 9 (4 u smeru A i 5 u smeru B), dok je dužina nove trase 13,1 km (posmatrano kumulativno za oba smera) što je za 3,2 km više u odnosu na dužinu postojeće trase. U varijanti „Vojvode Bojovića“ broj novih stajališta iznosi 7 (3 u smeru A i 4 u smeru B), dok je dužina nove trase 13,4 km što je za 3,5 km više u odnosu na dužinu postojeće trase.

Navedene izmene u obe varijante ne narušavaju postojeću prostornu pristupačnost transportne usluge, već je samo proširuju sa novim stajalištima.

Usled značajne devijacije trase pojedini putnici će se voziti duže, odnosno 8 minuta u varijanti „Maksima Gorkog“ i 9 minuta u varijanti „Vojvode Bojovića“.

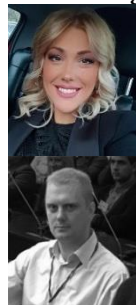
Izborom bilo koje od navedene dve varijante, za 2000 putnika u toku dana kvalitet usluge sa aspekta vremena putovanja će se značajno pogoršati, tako da će mnogi putnici za vreme rekonstrukcije Jevrejske ulice menjati svoje navike, između ostalog i izlaskom iz vozila stajalište ranije i dužim pešačenjem stizati do cilja. Ostalim putnicima neće biti narušen kvalitet usluge.

Na osnovu dobijenih rezultata, analize prostorne pristupačnosti i vremena vožnje putnika, može se zaključiti da nema značajnije razliku u analiziranim varijantama.

6. LITERATURA

- [1] Banković, Radovan, *Organizacija i tehnologija javnog gradskog putničkog prevoza*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1994.
- [2] Fakultet tehničkih nauka, *Smart plan - prikupljanje podataka „prva faza“ - Istraživanje u javnom gradskom prevozu putnika*, Novi Sad, 2017.
- [3] Gladović, Pavle, *Tehnologija drumskog saobraćaja*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003.
- [4] Gladović, Pavle, *Sistem kvaliteta u drumskom transportu*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

Kratka biografija:



Maja Romandić rođena je u Užicu 1990. godine.

Kontakt: majanijemcevicromandic@gmail.com

Pavle Pitka rođen je u Šašincima 1983. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. god., od 2022. je u zvanju vanrednog profesora. Oblas interesovanja su sistemi javnog prevoza.

ANALIZA USLOVA ODVIJANJA SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICI ULICA MARŠALA TITA, PETEFI BRIGADE I GLAVNE U BAČKOJ TOPOLI SA PREDLOGOM VARIJANTNIH REŠENJA

ANALYSIS OF TRAFFIC CONDITIONS AT THE INTERSECTION OF MARŠALA TITA, PETEFI BRIGADE AND GLAVNA STREETS IN BAČKA TOPOLA WITH A PROPOSAL FOR ALTERNATIVE SOLUTIONS

Atila Horvat, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT

Kratak sadržaj – U ovom radu izvršena je analiza uslova odvijanja saobraćaja na raskrsnici ulica Maršala Tita, Petefi brigade i Glavne u Bačkoj Topoli i dat je izbor optimalnog varijantnog rešenja kao i predlozi rešenja poboljšanja uslova odvijanja saobraćaja u planskom periodu od 20 godina.

Ključne reči: Raskrsnica, Nivo usluge, Funkcionalno vrednovanje

Abstract – In this paper, an analysis of the traffic conditions at the intersection of Maršala Tita, Petefi brigade and Glavna streets in Bačka Topola was performed and the optimal solution was selected. In addition, suggestions for improving the traffic conditions in the planning period of 20 years were made.

Keywords: Intersection, Level of service, Functional evaluation

1. UVOD

Vremenski gubici signalisane raskrsnice zavise od brojnih faktora od kojih su najznačajniji kvalitet progresije, dužina ciklusa, odnos g/C (odnos trajanja zelenog intervala i ciklusa) i stepen zasićenosti [1].

Vremenski gubici i kapacitet zavise i od tipa raskrsnice. Kružne raskrsnice pružaju veći kapacitet i manje vremenske gubitke, posebno pri većim vrednostima protoka i udela levih skretanja. Najbolje performanse kružne raskrsnice postižu se pri stepenu zasićenosti od oko 85%. U slučajevima kada je zahtev za protokom jednak ili veći od kapaciteta, vremenski gubici su veći nego kod signalisane raskrsnice [2].

U ovom radu izvršena je analiza zahteva za protokom i karakteristika saobraćajnog toka na raskrsnici ulica Maršala Tita, Petefi brigade i Glavne u Bačkoj Topoli. Na osnovu trenutnih i prognoziranih zahteva za protokom izvršena je analiza uslova odvijanja saobraćaja u baznoj godini (2022.) i petogodišnjim presecima (2027, 2032, 2037. i 2042. godini). U skladu sa utvrđenim uslovima odvijanja saobraćaja dati su predlozi mera za poboljšanje uslova odvijanja saobraćaja na predmetnoj raskrsnici.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vuk Bogdanović, red. prof.

2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA

Predmetna raskrsnica je četvorokraka signalisana raskrsnica koja se nalazi u centralnoj zoni naselja Bačka Topola, i predstavlja ukrštanje državnog puta IIA-105 (ulica Petefi brigade), državnog puta IIA-100 (ulica Maršala Tita) i ulice Glavna. Na slici 1. prikazan je ortofoto snimak raskrsnice.



Slika 1. Ortofoto prokaz raskrsnice

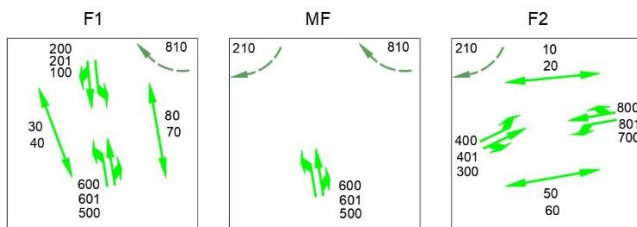
Na analiziranoj raskrsnici, na svakom prilazu, postoje izdvojene saobraćajne trake za levo skretanje i zajedničke saobraćajne trake za pravo i desno skretanje.

Sva četiri izlivna grla sastoje se iz jedne saobraćajne trake. Na kolovozu su obeležene neisprekidane razdelne linije, isprekidane razdelne linije, strelice za jedan smer (levo), za dva smera (pravo i desno) i neisprekidane linije zaustavljanja.

Na sva četiri prilaza raskrsnici postoji obeležen pešački prelaz širine 4 metara sa prelazima biciklističke staze sa obe strane pešačkih prelaza.

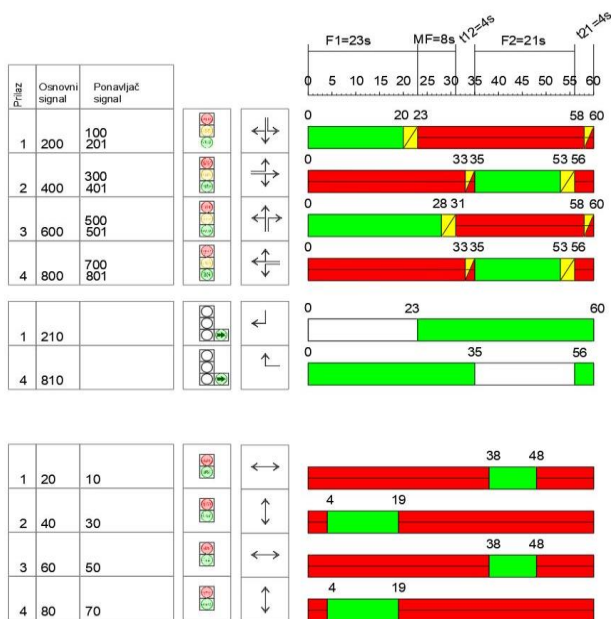
2.1. Način regulisanja saobraćaja na raskrsnici

Saobraćaj na raskrsnici regulisan je svetlosnom saobraćajnom signalizacijom. Rad svetlosnih signala se odvija u dve faze sa jednom međufazom. Na severnom i istočnom prilazu postoje direkcione lanterne za desno skretanje koje su upaljene kada je upaljeno crveno svetlo na prilazima na koje se odnose. Fazni plan prikazan je na slici 2.



Slika 2. Fazni plan u postojećem stanju

Trajanje ciklusa u postojećem stanju je 60s i sastoji se od dve faze i jedne međufaze trajanja $F1=23s$, $MF=8s$ i $F2=21s$. Postojeći plan tempiranja prikazan je na slici 3.



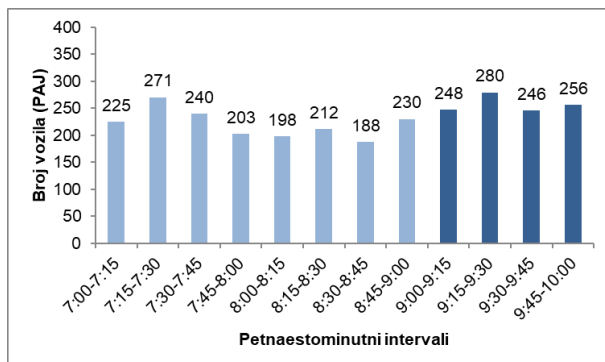
Slika 3. Plan tempiranja u postojećem stanju

2.2. Analiza zahteva za protokom i karakteristika saobraćajnog toka

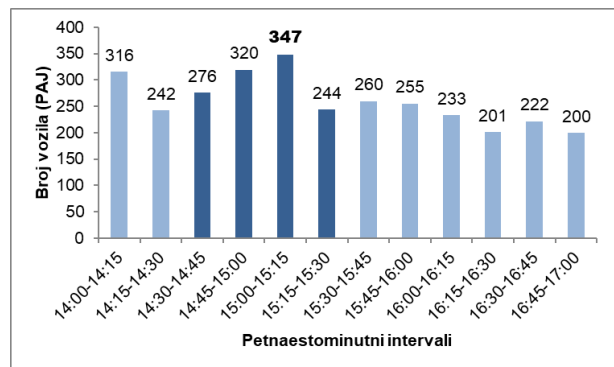
Bazni zahtevi za protokom utvrđeni su na osnovu brojanja sprovedenog u utorak 1.3.2022.

Brojanje je vršeno u jutarnjem vršnom periodu od 07:00 do 10:00 časova i u poslepodnevnom vršnom periodu od 14:00 do 17:00 časova. Za brojanje je bilo angažovano četiri brojača tako da jedan brojač broji vozila na jednom prilazu.

Raspodela broja vozila po petnaestominutnim intervalima data je na slikama 4. i 5. Na graficima (Slike 4 i 5) tamnijom bojom su označeni jutarnji i poslepodnevni vršni časovi.



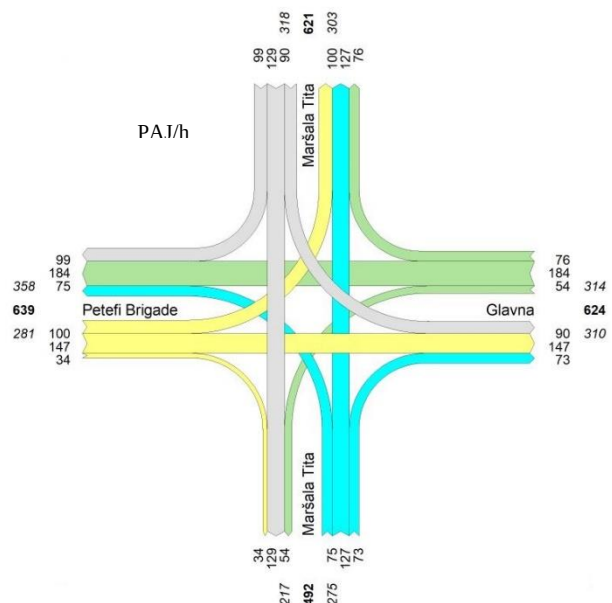
Slika 4. Raspodela broja vozila na raskrsnici po petnaestominutnim intervalima u periodu 7-10h



Slika 5. Raspodela broja vozila na raskrsnici po petnaestominutnim intervalima u periodu 14-17h

Maksimalna vrednost časovnog protoka u toku dana postiže se u popodnevnom vršnom času od 14:30 do 15:30 i iznosi 1187 PAJ/h.

Na slici 6. dat je grafički prikaz opterećenosti tokova što je prikazano proporcionalno prema debljini linija uz pomoć programa Strodio.



Slika 6. Distribucija tokova na raskrsnici po smerovima kretanja u popodnevnom vršnom času od 14:30 do 15:30

Sa slike 6. se vidi da ni jedan prilaz nije nesrazmerno opterećen u odnosu na ostale prilaze. Kretanje pravo sa istočnog prilaza predstavlja najopterećeniji manevar u popodnevnom vršnom satu sa 184 PAJ/h. Najveći protok za desna skretanja ostvaren je na severnom prilazu sa 99 PAJ/h, a najopterećenije levo skretanje je sa zapadnog prilaza sa 100 PAJ/h. Najopterećenije ulivno grlo je severni prilaz sa 318 PAJ/h, dok je najopterećenije izlivno grlo na zapadnom prilazu sa 358 PAJ/h.

3. ANALIZA VARIJANTNIH REŠENJA

Pre izbora varijantnog rešenja potrebno je izvršiti prognozu saobraćajnog opterećenja u planskom periodu (od 2022. do 2042. godine).

3.1. Prognoza saobraćajnog opterećenja

U ovom radu primenjen je model za prognozu budućeg saobraćaja koji se bazira na pretpostavci da je porast

saobraćajnog opterećenja na raskrsnicama u naseljenim mestima u direktnoj vezi sa porastom BDP-a

U tabeli 1. prikazan je prognozirani protok na raskrsnici po petogodišnjim presecima od 2022. do 2042. godine.

Tabela 1. Prikaz prognoziranih protoka po petogodišnjim presecima

Godina	2022	2027	2032	2037	2042
Protok (voz/h)	1137	1373	1631	1890	2191

3.2. Izbor varijante raskrsnice

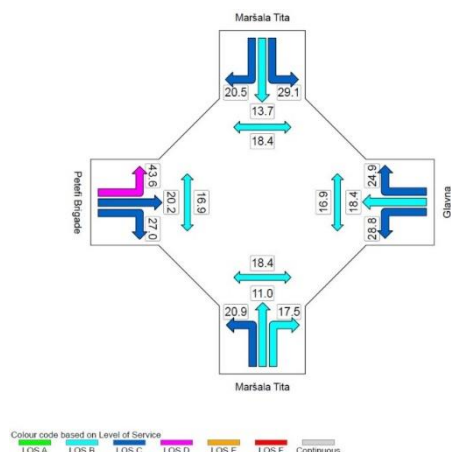
Jedan od osnovnih ciljeva ovog rada je da se na osnovu postojećih geometrijskih ograničenja predlože i analiziraju varijante tipa raskrsnice, kako bi se našlo optimalno rešenje za datu raskrsnicu za planski period. Predložene varijante tipa raskrsnice su:

Varijanta 1 – četvorokraka signalisana raskrsnica (postojeći način regulisanja);

Varijanta 2 – kružna raskrsnica sa jednom trakom na svim prilazima i jednom trakom u kruženju.

Za utvrđivanje performansi rada raskrsnice u planskom periodu korišćen je programski alat SIDRA Intersection.

Performanse rada signalisane i kružne raskrsnice prikazane su u tabelama 2 i 3.



Slika 7. Vremenski gubici i nivo usluge po manevrima u postojećem stanju

Na slici 7. prikazani su vremenski gubici i nivo usluge po manevrima u postojećem stanju. Ova vrsta prikaza predstavlja jedan od osnovnih izlaznih rezultata analize programom SIDRA.

Upoređivanjem pokazatelja uslova odvijanja saobraćaja na raskrsnici za dva varijantna rešenja uočava se da su uslovi odvijanja saobraćaja do 2027. godine bolji na kružnoj raskrsnici nego na signalisanoj raskrsnici sa postojećim signalnim planom. Od 2032. godine prosečni vremenski gubici signalisane raskrsnice postaju manji nego kod kružne raskrsnice i do kraja planskog perioda ta razlika postaje izraženija. Vremenski gubici najlošijeg manevra signalisane raskrsnice su veći u svakoj godini planskog perioda i vremenom rastu puno brže nego kod kružne raskrsnice, ali s obzirom da je razlika između prosečnih vremenskih gubitaka i vremenskih gubitaka najlošijeg manevra jako velika, smatra se da se intervencijama poput promene signalnog plana i manjih rekonstrukcija uslovi odvijanja saobraćaja mogu značajno poboljšati. To nije slučaj sa kružnom raskrsnicom, gde se naknadnim intervencijama nije moguće značajnije poboljšati uslove odvijanja saobraćaja izmenom geometrije jer postoje prostorna ograničenja lokacije.

Na osnovu prethodno navedenog kao definitivno rešenje usvaja se **da se zadrži postojeća signalisana raskrsnica** uz predlog mera za optimizaciju načina rada svetlosnih signala.

4. PREDLOG MERA ZA UNAPREĐENJE USLOVA ODVIJANJA SAOBRAĆAJA U PLANSKOM PERIODU

Analizom su utvrđene mere za poboljšanje uslova odvijanja saobraćaja po petogodišnjim presecima.

Da bi se poboljšali uslovi odvijanja saobraćaja na raskrsnici 2022. i 2027. godine, potrebno je primeniti dvofazni ciklus trajanja 60s. Optimalnim signalnim planom 2022. godine moguće je smanjiti prosečne vremenske gubitke raskrsnice sa 22,2s na 18,8s i vremenske gubitke najlošijeg manevra sa 43,6s na 28,3s u odnosu na postojeći signalni plan. 2027. godine prosečni vremenski gubici se smanjuju sa 30s na 21,8s a vremenski gubici najlošijeg manevra sa 97,8s na 36,1s.

Tabela 2. Performanse rada signalisane raskrsnice – Varijanta 1

Godina	Prognozirani protok (voz/h)	Ukupni zahtevi za protokom (voz/h)	Stepen zasićenosti	Kapacitet (voz/h)	Prosečni vremenski gubici (s)	Vremenski gubici za najlošiji manevar (s)	Nivo usluge (pros.vrem. gub.raskrs.)	Nivo usluge (najlošiji manevar)
2022	1137	1512	0,64	2351	22,2	43,6	C	D
2027	1373	1825	0,99	1850	30	97,8	C	F
2032	1631	2166	1,62	1339	58,6	345,9	E	F
2037	1890	2515	2,17	1158	93,4	591,7	F	F
2042	2191	2913	2,51	1162	143,1	740,4	F	F

Tabela 3. Performanse rada kružne raskrsnice – Varijanta 2

Godina	Prognozirani protok (voz/h)	Ukupni zahtevi za protokom (voz/h)	Stepen zasićenosti	Kapacitet (voz/h)	Prosečni vremenski gubici (s)	Vremenski gubici za najlošiji manevar (s)	Nivo usluge (pros.vrem. gub.raskrs.)	Nivo usluge (najlošiji manevar)
2022	1137	1512	0,62	2444	13,1	19,5	B	B
2027	1373	1825	0,85	2134	23,7	34,8	C	C
2032	1631	2166	1,15	1876	66,4	114,3	E	F
2037	1890	2515	1,42	1764	129,3	226,8	F	F
2042	2191	2913	1,67	1747	206	331	F	F

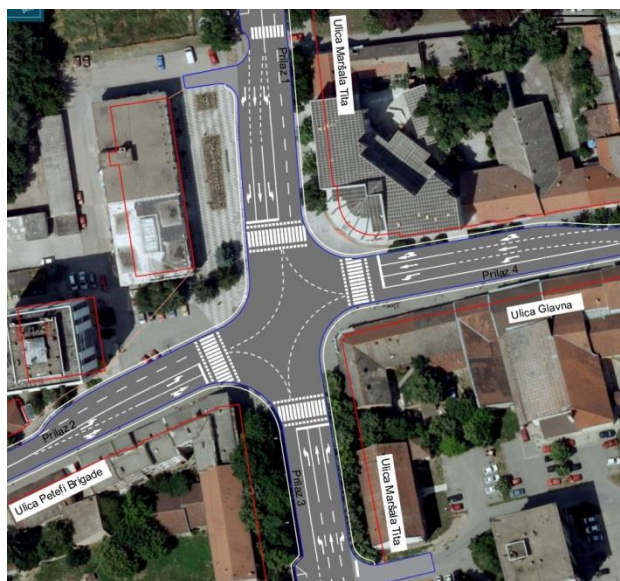
Signalni plan koji omogućava najoptimalnije uslove odvijanje saobraćaja 2032. godine predstavlja ciklus od 70s sa dve faze i jednom međufazom. U međufazi pravo prolaza kroz raskrsnicu imaju sva vozila sa zapadnog prilaza.

Uz optimizaciju signalnog plana, 2037. godine vrši se rekonstrukcija raskrsnice dogradnjom trake za desna skretanja na ulivnom grlu istočnog prilaza i jedne trake na izlivnom grlu severnog prilaza (Rekonstrukcija 1), što je prikazano na slici 8. Zahvaljujući optimizaciji i rekonstrukciji, 2037. godine prosečni vremenski gubici se smanjuju sa 93,4s na 28,4s a vremenski gubici najlošijeg manevra sa 591,7s na 48,3s.



Slika 8. Izgled raskrsnice nakon Rekonstrukcije 1

2042. godine vrši se dodatna rekonstrukcija prilikom koje se dograđuje po jedna traka za desna skretanja na ulivnim grlima severnog i južnog prilaza, kao i jedna traka na izlivnom grlu zapadnog prilaza (Rekonstrukcija 2), što je prikazano na slici 9. Uz ciklus od 85s sa jednom međufazom postiže se smanjenje prosečnih vremenskih gubitaka sa 143,1s na 27,5s, dok se vremenski gubici najlošijeg manevra smanjuju sa 740,4s na 42,2s.



Slika 9. Izgled raskrsnice nakon Rekonstrukcije 2

Prosečni vremenski gubici raskrsnice i vremenski gubici najlošijeg manevra, kao i nivo usluge baziran na ovim vrednostima prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4. Vremenski gubici i nivo usluge raskrsnice za postojeći i optimizovan signalni plan

		Prosečni vremenski gubici (s)	Vremenski gubici za najlošiji manevar (s)	Nivo usluge (pros.vrem. gub.raskrs.)	Nivo usluge (najlošiji manevar)
2022	Post.	22,2	43,6	C	D
	Opt.	18,8	28,3	B	C
2027	Post.	30	97,8	C	F
	Opt.	21,8	36,1	C	D
2032	Post.	58,6	345,9	E	F
	Opt.	29,6	48	C	D
2037	Post.	93,4	591,7	F	F
	Opt.	28,4	48,3	C	D
2042	Post.	143,1	740,4	F	F
	Opt.	27,5	42,2	C	D

5. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada jeste izbor načina regulisanja saobraćaja koji će na najoptimalniji način opslužiti saobraćajna opterećenja koja će se javiti na predmetnoj raskrsnici u planskom periodu od 20 godina. Jedan od osnovnih zadataka jeste da se na osnovu postojećih geometrijskih ograničenja predlože i analiziraju varijante tipa raskrsnice, kako bi se našlo optimalno rešenje za datu raskrnicu za planski period. Upoređivanjem parametara rada postojeće signalisane raskrsnice sa postojećim signalnim planom (Varijanta 1) i kružne raskrsnice sa jednom trakom u kruženju i jednom trakom na ulivnim grlima (Varijanta 2) došlo se do zaključka da se usvaja da se zadrži postojeća signalisana raskrznica uz predlog mera za optimizaciju načina rada svetlosnih signala.

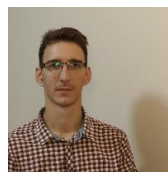
Analizom karakteristika saobraćajnog toka došlo se do zaključka da postojeći način regulisanja saobraćaja na raskrsnici neće moći da odgovori na prognozirane zahteve za protokom u čitavom planskom periodu.

Analizom su utvrđene regulativne i rekonstruktivne mere kojima se postižu značajno bolji uslovi odvijanja saobraćaja u planskom periodu u odnosu na scenario da se zadrži postojeći način regulisanja saobraćaja u planskom periodu.

6. LITERATURA

- [1] Transportation Research Board of The National Research Council, Highway Capacity Manual, Washington, D.C., 2000.
- [2] I. Ištoka Otković i I. Dadić, „Comparison of Delays at Signal-Controlled Intersection and Roundabout“, Promet - Traffic&Transportation, t. 21, br. 3, pp. 157-165, 2009.

Kratka biografija:



Atila Horvat rođen je u Novom Sadu 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport – Projektovanje i organizacija odbranio je 2022. god. kontakt: atilahorvat12@gmail.com

KONTROLA OŠTRINE FOTOGRAFIJA DOBIJENIH POMOĆU ZADNJIH KAMERA MOBILNIH TELEFONA**SHARPNESS CONTROL OF THE IMAGES REPRODUCED BY THE REAR CAMERAS OF MOBILE PHONES**

Teodora Stojanović, Ivana Jurič, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – *Analiziranje i određivanje razlika i sličnosti između zadnjih kamera pet različitih modela mobilnih telefona. Vršiti se upoređivanje i kontrola oštine fotografija dobijenih mobilnim telefonima koji su detaljnije opisani u daljem tekstu. Upotrebom specijalnih test karti za testiranje i Imatest softvera, dolazi se do kvantitativnih rezultata koji pružaju informacije vezane za kvalitet oštine.*

Ključne reči: *Digitalna fotografija, oština fotografije, atributi kvaliteta fotografije*

Abstract – *Analyzing and determining the differences and similarities between the rear cameras of five different mobile phones. The sharpness of photos obtained by mobile phones is compared and controlled, which are described in more details below. Using special test charts and Imatest software, quantitative results are obtained that provide information related to quality of sharpness.*

Keywords: *Digital photography, image sharpness, image quality attributes*

1. UVOD

Mobilni telefoni su napravili značajan iskorak van svoje osnovne funkcije, ali ujedno i veliki napredak. Najveći udarac će svakako podneti obični kompakt fotoaparati, dok će zakoni fizike mobilne telefone zauvek držati na lestvici nižeg kvaliteta fotografije u odnosu na fotoaparate sa većim senzorom i većim objektivima. I dalje postoji mogućnost veštačke kreacije bokeha (poznati koncept fotografije koji se odnosi na zamagljenu pozadinu u fotografijama), ali će ona kao takva biti dobra samo onima koji ne znajući za bolje, takvo rešenje vide kao prihvatljivo. Većina prosečnih korisnika mobilnih telefona kao fotoaparata, nije opterećena poigravanjem sa dubinskom oštrinom, baš kao što i nemaju pretenziju zalaska u umetničku zonu fotografija.

Fotografija je slika (negativ) osobe ili stvari štampane na fotoosetljivom papiru. Ona je proizvod hemijskog i optičkog procesa. Reč potiče od grčke reči φως phos („svetlo”) i γραφίς graphis („crtanje”) što znači „crtanje pomoću svetlosti”. Pre 15 godina, bilo bi teško poverovati u kvalitet slike koje danas pruža prosečna kamera za mobilne telefone.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Ivana Jurič, docent.

Ona bi, zapravo bila bolja u poređenju sa kompaktnim kamerama koje su tada bile na raspolaganju.

U drugom delu rada predstavljen je eksperimentalni deo koji se odnosi na kontrolu oštine fotografije dobijene zadnjim kamerama mobilnih telefona, gde je opisan postupak po kojem je izvršen eksperiment, kao i odgovarajuća oprema koja je korišćena poput test karti, stalka sa osvetljenjem, kao i softvera koji je namenjen baš za tu svrhu.

2. PAMETNI TELEFONI I KAMERE

Da bi se mogle opisati karakteristike slike fotoaparata, neophodno je dobro razumevanje njegovog rada. Rad fotoaparata zasnovan je na principima utvrđenim pre nekoliko stotina godina, pri čemu je i ova perspektiva postala dragocena za potpuno razumevanje digitalne fotografije. Kombinovanjem nekoliko polja nauke i tehnologije formiraju se slike pomoću digitalnog fotoaparata. Fizika, pružajući osnovne koncepte predstavlja najvažniji deo područja poput obrade signala, optike i elektronike, kao i nauke o boji i vidu, što ukazuje na važnu ulogu u opisivanju i formiranju fotografije. Reč kamera potiče od latinskog naziva Camera obscura, što doslovno znači „mračna komora”. Princip kamere obscura je izuzetno jednostavan: na jednom kraju komore je napravljena mala rupa ili otvor. Svetlosni zraci sa scene prolaze kroz otvor i na kraju osvetljavaju zadnji zid unutar komore, stvarajući tako sliku scene [1].

2.1. Digitalna fotografija

Prvi digitalni fotoaparati na tržištu minimalne rezolucije (640 x 640 K), brzo su zamenjeni većom (1600 x 1200 = 2,1 Mp), itd. Trenutno veći broj digitalnih fotoaparata dostiže oko 20 megapiksela za kompaktne digitalne fotoaparate i više od 50 za profesionalne (DSLR kamere). Tako su kupci digitalnih fotoaparata, slično kupcima računara, postali uslovljeni da nadograđuju svoje uređaje na svakih nekoliko godina [2].

2.2. Građa kamere u mobilnom telefonu

Kako su telefoni postajali sve veći i bolji tokom vremena, tako su se i njihove kamere menjale i napredovale. Ono što se nalazi unutar kamera mobilnih telefona se može razumeti, ukoliko se dobro poznaju njihove funkcije kao i njihova preciznost koja omogućava fotografisanje [3].

Unutar kamere mobilnog telefona se nalaze njegove komponente [4]: sočiva, senzor, procesor signala slike i senzor za dubinu (engl. Time of flight).

Kamera pametnog telefona radi skoro isto kao i svaka druga kamera tako što koristi svetlost za kreiranje slike. Optičke (fizičke) pojave koje dovode do skretanja i usmeravanja svetlosti u sočivima su takođe prilično slične. Po dizajnu, kamere pametnih telefona moraju biti veoma male u poređenju sa drugim digitalnim fotoaparatom. Ovo u velikoj meri utiče na funkcionisanje mobilnih kamera i na kvalitet slika koje mogu da proizvedu [4].

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo rada predstavlja opremu i materijale koji su iskorišćeni za dobijanje traženih rezultata. U okviru svakog dela opisane su glavne karakteristike, podešavanja i parametri koji su određeni za merenja. Opisan je i sam tok eksperimenta od prvog do poslednjeg koraka. Najbitnije karakteristike korišćenih mobilnih telefona su detaljnije objašnjene. Na kraju su izdvojeni rezultati MTF50 vrednosti za konkretne oblasti od interesa, na osnovu kojih su izneti konačni zaključci međusobnim poređenjem tih vrednosti između svih kamera mobilnih telefona.

3.1. Softver za analizu oštine fotografija

Imatest kompanija nastala je 2004. godine. Ona pruža fotografima mogućnosti upotrebe softvera, test karti i opreme koja im omogućuje da testiraju performanse digitalnih kamera i/ili objektiv. Imatest je pomogao preduzećima u različitim industrijama, uključujući mobilnu, automobilsku, medicinsku i proizvodnu.

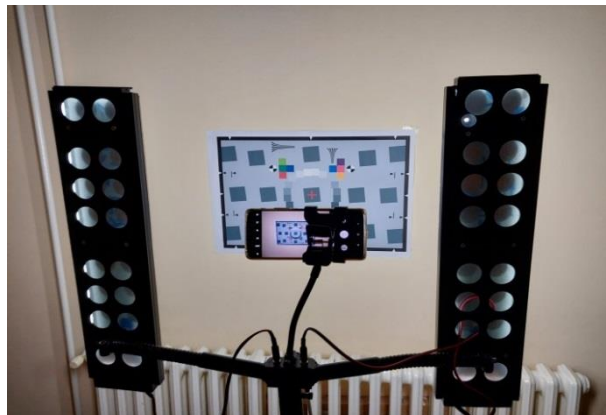
Ovaj program nudi softverski paket koji meri oštrinu i druge atribute kvaliteta slike digitalnih kamera i digitalizovanih filmskih slika. Ranije fotografi nisu mogli meriti performanse svojih fotoaparata i objektiv sa takvom preciznošću i pogodnošću. Moguće je jednostavno i lako izvršiti sopstvena merenja, fotografisanjem test karti i analizom rezultata pomoću softvera.

Imatest sadrži više modula za testiranje, a tokom ovog eksperimenta konkretno je korišćen SFR modul. SFR modul meri oštrinu fotoaparata i objektiv pomoću jednostavne iskošene ivice (ili industrijski standard ISO 12233 test karta ili test karta koju korisnik može sam odštampati na visokokvalitetnom inkdžet štampaču). Softver ima standardizovani algoritam koji omogućava poređenje kvaliteta digitalnih fotoaparata, kao i svih njegovih komponenti posebno. SFR takođe analizira hromatske aberacije i šum i procenjuje *Shannonov* informacioni kapacitet - pokazatelj kvaliteta slike na osnovu oštine i šuma [5].

3.2. Opis toka eksperimenta

Eksperiment se sprovodi prilikom odgovarajućih uslova u prostoriji u kojoj se odvija. Upotrebljava se određeno osvetljenje koje je udaljeno od test karte. Senzor kamere je postavljen u ravni sa centrom test karte, dok je udaljenost stalka 70 cm od karte. U prostoriji ne bi trebalo da budu prisutni drugi izvori svetla osim postavljenog na stalku koje ima temperaturu od 5000 K. Stalak je postavljen da bude u ravni sa test kartom eSFR, koja je zalepljena na zidu, kao što je prikazano na slici 1. Lampe su upaljene i telefon, sa uključenom zadnjom kamerom je postavljen na središnji deo stalka.

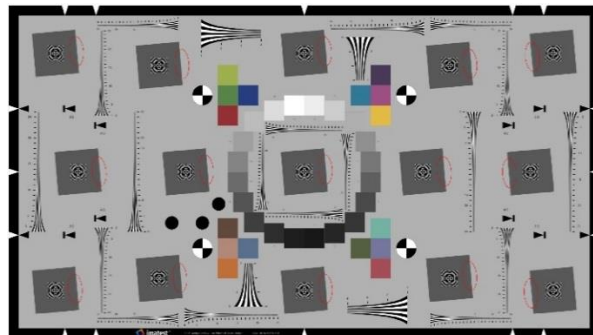
Kada je utvrđeno da je test karta vidljiva na displeju telefona, odgovarajućim daljinskim upravljačem se aktivira kamera i napravi nekoliko fotografija. Na slici 1. je prikazan izgled toka eksperimenta sa test kartom, telefonom i lampama.



Slika 1. Izgled toka eksperimenta

Nakon što je ovaj postupak urađen za prvi telefon, on se ponavlja i za preostala četiri telefona. Pri ponovljenom postupku, podešavanja kamere su ostala standardna, odnosno nepromenjena, tako da opcije poput fokusiranja i selektivne osvetljenosti nisu korišćene. Zatim se vrši prikupljanje svih dobijenih fotografija na jedan računar gde se sređuju za naredni postupak.

Ugao iskošenih ivica na fotografisanim elementima bitan je za određivanje rezolucije, pa je potrebno da test karte budu pod pravim uglom u odnosu na ugao fotografisanja. Fotografije koje malo iskošene, naknadno su korigovane u softveru Adobe Photoshop. Na svakoj test karti je izmerena oštrina za 15 iskošenih kvadrata, koji su označeni na slici 2.



Slika 2. Označeni elementi korišćeni za merenje oštine

Svaki element (kvadrat) se posebno analizira tako što se odredi površina od interesa (engl. ROI - Region Of Interest). Otvara se prozor gde se nalaze kontrole kojima manuelno može da se podesi okvir za analiziranje, tzv. površina od interesa. Veoma je bitno da krstić unutar te površine bude na ivici, tj. na samom prelazu belog u crni deo. Površina od interesa je dimenzija 80 x 160 px za sve telefone.

U Tabeli 1 predstavljeni su svi mobilni telefoni koji su korišćeni u eksperimentu, prikazane su vrednosti otvora blende i rezolucija zadnjih kamera.

Nakon što se odredi površina od interesa, sledeći korak jeste izbor jedinice odziva prostorne frekvencije a to su ciklusi po pikselu - Cy/Pxl (engl. Cycles per pixel) ili

širina linije po visini slike - LW/PH (engl. Line width per picture height) koja se koristi za poređenje performansi kamera na mobilnim telefonima, dok su ostale opcije podešavanja ostavljene na svojim podrazumevanim vrednostima.

To predstavlja poslednji korak u programu, pri čemu se dobijaju rezultati za određeni isečeni element u vidu grafikona zajedno sa brojčanim vrednostima, gde su predstavljeni rezultati za jedan od elemenata korišćenih u eksperimentu.

Tabela 1. Karakteristike kamera mobilnih telefona

Model telefona	Otvor blende	Rezolucija kamere
Samsung Galaxy A52s 5G	f/1.8	2400 x 1080 px 64 MP
LG K10	f/2.2	720 x 1280 px 13 MP
Huawei Mate 10 Lite	f/2.2	1080 x 2160 px 16 MP
Apple Iphone 11 Max Pro	f/2.4	2688 x 1242 px 12 MP
Xiaomi Redmi Note 10	f/1.9	1080 x 2400 px 48 MP

4. REZULTATI MERENJA

Na grafikonu sa slike 3 prikazani su rezultati merenja koji se dobijaju u softveru Imatest kada se analizira oštrina fotografije. Kriva reflektancije (engl. Edge profile) se nalazi u gornjem delu a u donjem delu je MTFkriva (engl. Modulation Transfer Function), tj. kriva koja se koristi za analizu oštine.

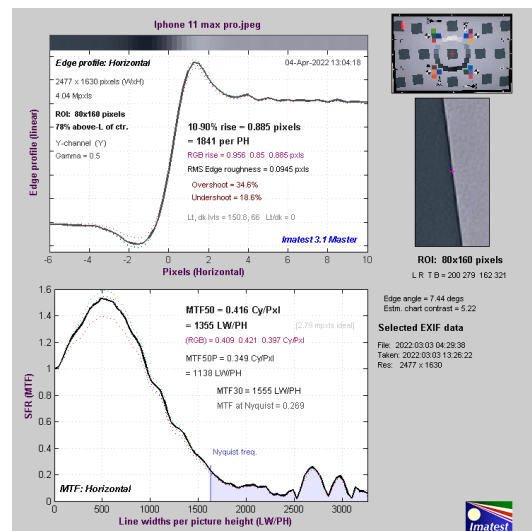
Vrednost MTF50 je prostorna frekvencija u kojoj je kontrast slike polovina (50%) niskih frekvencija i ta vrednost se očitava sa MTF krive. MTF50 predstavlja meru percepcije oštine slike jer su detalji umanjani, ali i dalje vidljivi. Nalazi se u regionu gde odziv većine kamera najbrže opada. Koristan je za poređenje oštine različitih kamera, a ujedno je i pokazatelj oštine čije vrednosti će biti razmatrane u radu.

Na slikama 4-8 prikazane su uslikane test karte svakim telefonom pojedinačno, kao i obeleženi isečci sa izmerenim MTF50 vrednostima koji su korišćeni za analizu oštine fotografija. Vizuelno se može primetiti da postoji razlika kako između isečaka u okviru jedne test karte, tako i između fotografija dobijenih različitim mobilnim telefonima.

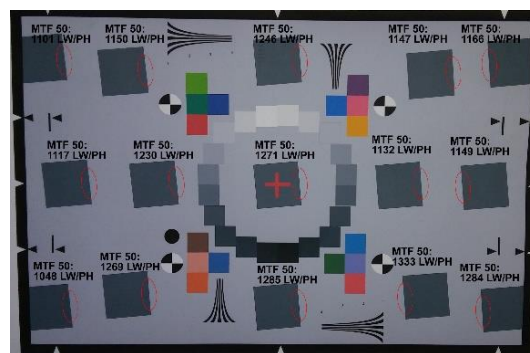
Na slici 9 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti MTF50 dobijenih za sve mobilne telefone. U radu se nalazi kompletna tabela svih 15 isečaka za svaki telefon. Na osnovu njihove srednje vrednosti vršen je odabir kamere sa najvećom oštrinom.

Na osnovu rezultata može se primetiti da postoji određena neujednačenost između dobijenih vrednosti u okviru jedne test karte slikane istim mobilnim telefonom.

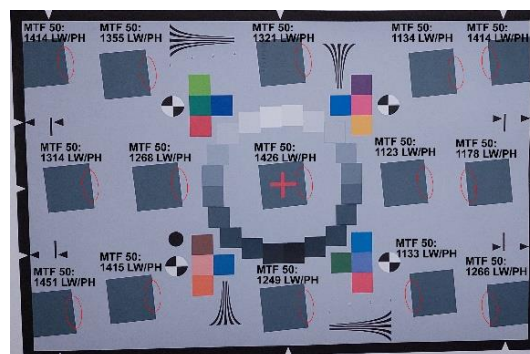
Najveće vrednosti i samim tim najveća oštrina je dobijena za fotografije uslikane telefonom Apple Iphone 11 Max Pro. Apple Iphone 11 Max Pro ima srednju vrednost MTF50 od 1500.6 LW/PH.



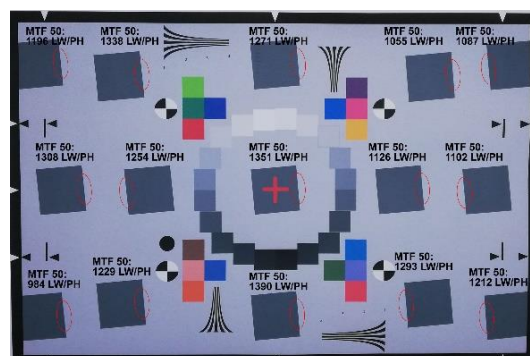
Slika 3. Primer grafika rezultata za prvi isečak, ROI 80 x 160 piksela (telefon Iphone 11 Max Pro)



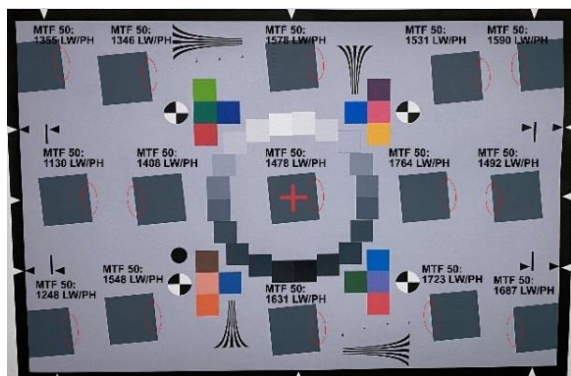
Slika 4. Uslikana test karta i isečci za merenje (telefon LG K10)



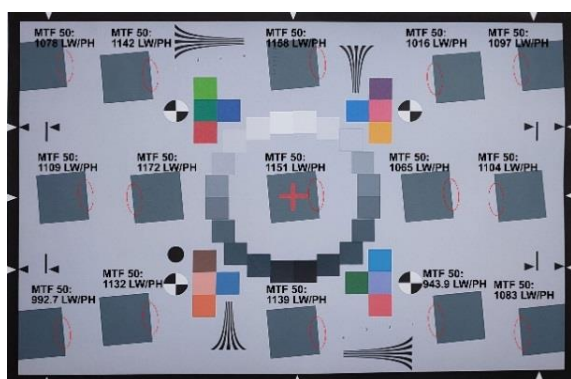
Slika 5. Uslikana test karta i isečci za merenje (telefon Samsung Galaxy A5)



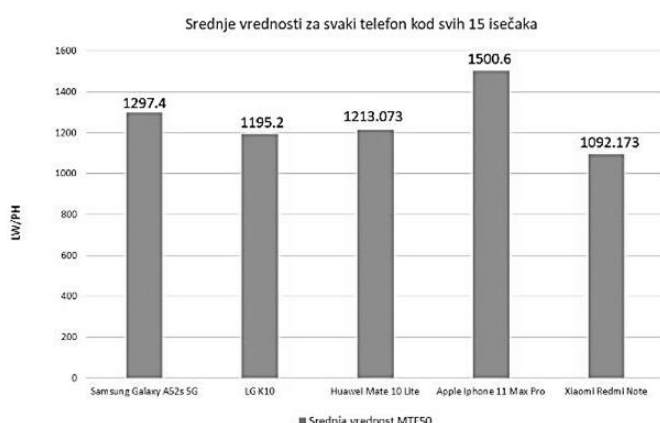
Slika 6. Uslikana test karta i isečci za merenje (telefon Huawei Mate 10 Lite)



Slika 7. Uslikana test karta i isecci za merenje (telefon Iphone Apple 11 Max Pro)



Slika 8. Uslikana test karta i isecci za merenje (telefon Xiaomi Redmi Note 10)



Slika 9. Grafik rezultata srednjih MTF50 vrednosti (LW/PH) za sve mobilne telefone

5. ZAKLJUČAK

Osnovni princip funkcionisanja zadnjih kamera na mobilnim telefonima detaljnije je opisan u ovom radu, zajedno sa svim delovima od kojih se one sastoje. Takođe su detaljnije objašnjeni glavni atributi kvaliteta fotografije i u kojoj meri se koriste, kao i na koji način mogu da utiču na krajnji izgled fotografije. Atribut oštine dobija najveći značaj, kao najvažniji faktor kvaliteta, i ujedno ključna tačka ovog rada. Oština je ta koja ukazuje na količinu detalja koju fotografija može da prenese. U okviru rada opisan je i standard koji je namenjen za kvantifikovanje performansi mobilnih uređaja, koji u sebi sadrži kameru, i ima naziv Kvalitet kamera mobilnih telefona - CPIQ (engl. Camera Phone Image Quality).

Njegov cilj jeste da standardizuje merenja kvaliteta slika, poveže objektivne rezultate merenja sa ljudskom percepcijom, kako bi se dobili podaci za smislen sistem ocenjivanja. Korišćen softver u eksperimentu ovog rada, kao i test karta pripadaju kompaniji Imatest. Zajedno sa njima, upotrebljeno je pet različitih mobilnih telefona sa različitim rezolucijama kamere, kao i različitim komponentama unutra kamera. Prilikom izvođenja eksperimenta ispoštovani su uslovi za testiranje naznačeni od kompanije Imatest, kako bi dobijeni rezultati merenja bili ispravni, tj. u skladu sa odgovarajućim standardom.

Telefon Apple Iphone 11 Max Pro ima najveće vrednosti oštine fotografije. Veća rezolucija kamere ne mora da znači i veća oština fotografije, kao što se može videti u primeru između telefona Iphone 11 Max Pro i Samsung Galaxy A52s 5G, tako što je kamera manje rezolucije - 12MP napravila sliku veće oštine u odnosu na kameru sa više megapiksela - 64MP. Korišćena je jedna površina od interesa, i ono što se može zaključiti na osnovu toga jeste da se za isti telefon mogu dobiti neujednačene vrednosti na različitim površinama, međutim u ovom eksperimentu ne postoje neka veća odstupanja u tom pogledu. Vrednosti MTF50 za telefon Samsung Galaxy A52s 5G se najmanje razlikuju za svih 15 izmerenih isečaka međusobno, što znači da je oština uniformna na celoj slikanoj površini, ali je šum više prisutan u odnosu na ostale telefone. Vrednosti MTF50 koje se najviše razlikuju između 15 isečaka pripadaju telefonu Xiaomi Redmi Note 10, što znači da njegova zadnja kamera daje najmanje uniformnu oštinu na slikanoj površini, iako je kamera čak 48MP. Ovo se isto može primetiti i vizuelno, jer su isecci sa jedne strane mnogo više zamućeni u poređenju sa iseccima kod fotografija ostalih telefona.

6. LITERATURA

- [1] J.B. Phillips, H. Eliasson, "Camera Image Quality Benchmarking", Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology, 2018.
- [2] D. Simon, "Digital Photography Bible", Wiley Publishing, Inc, Indianapolis, Canada, 2004.
- [3] [What's Inside Smartphone Camera: Hardware-Software Unity Explained \(fossbytes.com\)](https://fossbytes.com/what-inside-smartphone-camera-hardware-software-unity-explained/) (pristupljeno u septembru 2021.)
- [4] <https://thesmartphonephotographer.com/how-phone-camera-works/> (pristupljeno u septembru 2021.)
- [5] <https://www.imatest.com/2004/09/imatest-10-image-quality-evaluation-software-released/> (pristupljeno u novembru 2021.)

Podaci za kontakt:

MSc Teodora Stojanović,
teodora.stojanovic95@gmail.com

Dr Ivana Jurić,
rilovska@uns.ac.rs

UTICAJ STARENJA NA ČESTICE PERLESCENTNIH PIGMENATA**INFLUENCE OF AGING ON PEARLESCENT PIGMENT PARTICLES**

Željana Crnojacki, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – Priroda i količina pigmenata u grafičkoj boji definišu njena svojstva (obojenost, postojanost, trajnost, itd.), konzistenciju, vizuelni identitet i cenu. Takođe i vizuelni identitet konačnog suvog otiska boje zavisi od kvaliteta i postojanosti otiska na uslove okoline. Cilj rada je procena uticaja starenja pri određenim operativnim uslovima na ukupan broj i intervale površina čestica u netretiranom i tretiranom otisku perlescentnih pigmenata primenom optičke mikroskopije.

Glavne reči: *Perlescentni pigmenti, optička mikroskopija, starenje*

Abstract – The nature and quantity of pigments in the printing ink define its properties (coloration, persistence, durability, etc.), consistency, visual identity, and price. Also, the final imprint's visual identity depends on the print's quality and durability under environmental conditions. Therefore, the paper evaluated the influence of aging under certain operating conditions on the total number of particles and intervals of particle surfaces in the print of pearlescent pigments using optical microscopy.

Keywords: *Pearlescent pigments, optical microscopy, aging*

1. UVOD

Perlescentni pigmenti imaju jednostavne kompozicije neorganskog porekla koje im daju specifična fizičko-hemijska i optička svojstva, kao i široku primenu. Poseduju veoma visok sjaj, korozionu i fizičku stabilnost na visoke temperature, atmosferalije i svetlost, kao i na kiseline i baze. Sa aspekta zaštite životne sredine netoksični su i hemijski inertni što im omogućava mešanje u bilo koji viskozni, prozirni medijum i nanošenje u vidu premaza na bilo koju površinu. Zbog netoksičnosti mogu se koristiti za štampu ambalaže za pakovanje hrane [1].

U grafičkoj industriji perlescentni pigmenti se koriste u grafičkim bojama na bazi vode i na bazi rastvarača [2]. Kako su pigmenti najvažnija komponenta grafičkih boja koji određuju njen vizuelni identitet, doprinose njenoj ceni, utiču svojom prirodom, količinom i svojstvima na njena opšta i radna svojstva (konzistenciju, obojenost, postojanost, trajnost, itd.), ispitivanje svojstava pigmenata je od velikog značaja [3].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, vanr. prof.

Urbanizacija i novonastali modni trendovi u industrijama automobila, građevinskih materijala, boja i plastike u velikoj meri podstiču tržište perlescentnih pigmenata [4]. Sa jedne strane, priroda i količina pigmenta u grafičkoj boji definišu njena svojstva (obojenost, postojanost, trajnost, itd.), konzistenciju, vizuelni identitet i cenu. Sa druge strane, vizuelni identitet konačnog suvog otiska boje zavisi od kvaliteta i postojanosti otiska na uslove okoline.

2. EKSPERIMENTALNI DEO**2.1. Karakterizacija perlescentnih pigmenata**

Za analizu uticaja starenja na kvalitet otiska odabrani su perlescentni pigmenti, proizvođača Merck (Nemačka), sa oznakama (serijskim imenima): Blue (221 Rutile Fine Blue), Blue Silver (9605 Blue-shade Silver SW), Blue Green (GP Rutile Blue-Green WNT), Tropic Sunrise (T 20-03 WNT Tropic Sunrise), Goald Pearls (300 Gold Pearl), Solar Gold (325 Solar Gold Satin), Red (504 Red) i Lilac (223 Rutile Fine Lilac).

2.2. Određivanje broja i intervala površina čestica perlescentnih pigmenata

Primenom ImageJ programa za analizu slika (verzija 1.52), mikrografske snimke dobijeni optičkim mikroskopom (LEITZ-Orthoplan, slika 1) su konvertovani u mikrografske fotografije otisaka odgovarajućih perlescentnih pigmenata. Takođe, ImageJ analizom su dobijeni sledeći parametri za čestice pigmenata: broj (N) čestica i intervali površina čestica perlescentnih pigmenata u otisku.



Slika 1. LEITZ-Orthoplan mikroskop [5]

2.3. Starenje otisaka perlescentnih pigmentata

Ubrzani proces starenja sproveden je u vremenskim intervalima od 72 i 144 sata kako bi se analizirao uticaj starenja na broj čestica i intervale površina čestica perlescentnih pigmentata u otisku. Za svaki perlescentni pigment otisci su podeljeni u tri grupe: neostareni (netretirani), ostareni 72 sata i ostareni 144 sata.



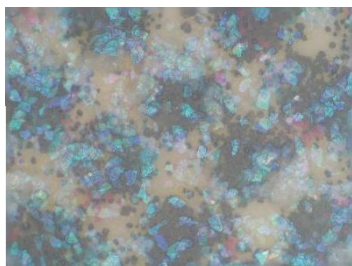
Slika 2. Solarbox 1500E [6]

Za simulaciju starenja upotrebljen je uređaj Solarbox 1500E (slika 2) u kome su otisci podvrgnuti ubrzanom starenju pri temperaturi od 50°C, zračenju snage od 550 W/m² i relativnoj vlažnosti vazduha od 65%.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Neostareni otisci perlescentnih pigmentata

Mikrografski snimak neostarenog otiska Blue perlescentnog pigmenta dobijen optičkim mikroskopom (uvećanje 200x) prikazan je na slici 3.



Slika 3. Neostareni otisak Blue perlescentnog pigmenta

Brojevi (N) i intervale površina čestica (P u μm²) dobijeni na osnovu analize u ImageJ programu za neostarene perlescentne pigmente Blue, Blue Silver, Blue Green, Tropic Sunrise, Gold Pearls, Solar Gold, Red i Lilac, prikazani su u tabelama od 1 do 8, redom.

Tabela 1. Brojevi i intervale površina čestica u otisku Blue perlescentnog pigmenta

Interval P (μm ²)	N
100-150	3
150-200	3
200-250	3
300-350	1
350-400	1
400-450	2
Ukupno	13

Tabela 2. Brojevi i intervale površina čestica u otisku Blue Silver perlescentnog pigmenta

Interval P (μm ²)	N
1-50	3
50-100	3
100-150	1
150-200	2
200-250	2
350-400	1
400-450	2
Ukupno	14

Tabela 3. Brojevi i intervale površina čestica u otisku Blue Green perlescentnog pigmenta

Interval P (μm ²)	N
50-100	4
100-150	3
150-200	2
200-250	2
250-300	2
350-400	1
450-500	3
Ukupno	17

Tabela 4. Brojevi i intervale površina čestica u otisku Tropic Sunrise perlescentnog pigmenta

Interval P (μm ²)	N
1-50	7
50-100	9
100-150	6
150-200	5
200-250	4
250-300	2
300-350	2
Ukupno	35

Tabela 5. Brojevi i intervale površina čestica u otisku Gold Pearls perlescentnog pigmenta

Interval P (μm ²)	N
1-50	2
50-100	3
100-150	3
150-200	2
200-250	1
250-300	2
350-400	1
450-500	1
Ukupno	15

Tabela 6. Brojevi i intervali površina čestica u otisku Solar Gold perlescentnog pigmenta

Interval P (μm^2)	N
1-50	2
50-100	4
100-150	6
150-200	6
200-250	5
250-300	5
300-350	2
350-400	4
Ukupno	34

Tabela 7. Brojevi i intervali površina čestica u otisku Red perlescentnog pigmenta

Interval P (μm^2)	N
50-100	2
100-150	3
150-200	6
200-250	5
250-300	4
300-350	7
350-400	5
400-450	3
Ukupno	35

Tabela 8. Brojevi i intervali površina čestica u otisku Lilac perlescentnog pigmenta

Interval P (μm^2)	N
1-50	1
50-100	2
100-150	5
150-200	3
200-250	2
250-300	2
300-350	3
Ukupno	18

Dobijeni rezultati (tabele 1-8) pokazuju da ukupan broj čestica perlescentnih pigmenta u neostarenim otiscima opada u nizu:

Red = Tropic Sunrise > Solar Gold
> Lilac > Blue Green > Gold Pearls
> Blue Silver > Blue

Takođe se na osnovu dobijenih rezultata uočava da je ukupan broj čestica manji od 18 u Blue, Blue Silver, Gold Pearls, Blue Green i Lilac pigmentima, dok je u Solar Gold, Tropic Sunrise i Red perlescentnim pigmentima ukupan broj čestica veći od 34.

Najveći ukupan broj čestica (35) je u perlescentnim pigmentima Red i Tropic Sunrise. Njihove vrednosti su 2,7 puta više u odnosu na ukupan broj čestica u Blue pigmentu. Zaključuje se da broj čestica zavisi od prirode i sastava perlescentnog pigmenta.

Gornje granice intervala površina (μm^2) čestica analiziranih perlescentnih pigmenta u neostarenim otiscima (tabele 1-8) opadaju u nizu:

Gold Pearls (500) = Blue Green (500)

> Blue Silver (450) = Red (450) = Blue (450)

> Solar Gold (400) Tropic > Sunrise (350) = Lilac (350)

Upoređujući nizove za broj čestica i gornje granice intervala površina čestica perlescentnih pigmenta uočava se da broj čestica i intervali površina čestica u neostarenim otiscima ne opadaju u istom nizu.

3.2. Ostareni otisci perlescentnih pigmenta

Dobijeni rezultati pokazuju da ukupan broj čestica u otiscima 72 sata ostarenih perlescentnih pigmenta opada u nizu:

Red > Tropic Sunrise > Solar Gold > Lilac

> Blue Green > Gold Pearls > Blue Silver > Blue

Broja čestica u otisku 72 sata ostarenog perlescentnog pigmenta Red je veći 1,9 puta u odnosu na isti parametar za Blue pigment.

Intervali površina (μm^2) čestica u otiscima 72 sata ostarenih perlescentnih pigmenta Blue, Tropic Sunrise, Gold Pearls, Red i Lilac su ujednačeni i u intervalu od 50 do 450 μm^2 . Za 72 sata ostarene Blue Silver, Blue Green i Solar Gold perlescentne pigmente intervali površina su od 100 do 450 μm^2 . Uočava se da starenjem intervali površina čestica perlescentnih pigmenta su ujednačeniji u odnosu na iste za netretirane perlescentne pigmente.

Broj čestica u otiscima perlescentnih pigmenta ostarenim 144 sata opadaju u istom nizu kao i za otiske pigmenta ostarenih 72 sata:

Red > Tropic Sunrise > Solar Gold

> Lilac > Blue Green > Gold Pearls

> Blue Silver > Blue

Dobijeni rezultati pokazuju da je nakon dodatnih 72 sata starenja broja čestica u otisku 144 sata ostarenog perlescentnog pigmenta Red veći 2 puta u odnosu na isti parametar za Blue pigment. Takođe, u otiscima ostarenim 72 i 144 sata redosled opadanja ukupnog broja čestica je isti kao i kod neostarenih otisaka.

Kao i kod 72 sata ostarenih otisaka intervali površina u otiscima 144 sata ostarenih perlescentnih pigmenta Blue, Tropic Sunrise, Gold Pearls, Red i Lilac su ujednačeni i u intervalu od 50 do 450 μm^2 . Za 144 sata ostarene Blue Silver, Blue Green i Solar Gold perlescentne pigmente intervali površina su od 100 do 450 μm^2 . Uočava se da dodatnim starenjem od 72 sata intervali površina čestica perlescentnih pigmenta su ujednačeniji u odnosu na iste za netretirane perlescentne pigmente.

3.3. Uticaj starenja na broj čestica perlescentnih pigmenta

Ukupni brojevi čestica neostarenih, 72 i 144 sata ostarenih perlescentnih pigmenta prikazani su u tabeli 9.

Tabela 9. Ukupan broj čestica neostarenih i ostarenih perlescentnih pigmenata

Perlescentni pigment	Broj čestica pigmenata		
	Neostareni otisak	72 sata ostareni otisak	144 sata ostareni otisak
Blue	13	20	24
Blue Silver	14	22	27
Gold Pearls	15	26	36
Blue Green	17	30	39
Lilac	18	32	42
Solar Gold	34	35	46
Tropic Sunrise	35	37	47
Red	35	38	49

Posle 72 sata ubrzanog starenja u otiscima Blue, Blue Silver, Gold Pearls, Blue Green, Lilac, Solar Gold, Tropic Sunrise i Red perlescentnih pigmenata uočava se povećanje ukupnog broja čestica od 154, 157, 173, 176, 178, 109, 106 i 109%, redom (tabela 9).

Kada su otisci analiziranih pigmenata ostareni 144 sati ukupan broj čestica u odnosu na broj u neostarenim otiscima se povećao 185, 193, 240, 233, 144, 134 i 140%, redom za Blue, Blue Silver, Gold Pearls, Blue Green, Lilac, Solar Gold, Tropic Sunrise i Red perlescentne pigmente (tabela 9).

Komparacijom ukupnog broja čestica u otiscima ostarenim 72 i 144 sati uočava se povećanje od 120, 123, 138, 130, 131, 131, 127 i 129% za Blue, Blue Silver, Gold Pearls, Blue Green, Lilac, Solar Gold, Tropic Sunrise i Red perlescentne pigmente (tabela 9).

Povećanje ukupnog broja čestica tokom ubrzanog starenja pri temperaturi od 50°C, zračenju snage od 550 W/m² i relativnoj vlažnosti vazduha od 65% može se objasniti smanjenjem količine veziva i razrušavanjem aglomerata iz neostarenih pigmenata. Dakle, u zavisnosti od prirode pigmenata vreme starenje je faktor koji utiče na povećanje broja čestica u otisku.

4. ZAKLJUČAK

Starenje otisaka odabranih perlescentnih pigmenata (Blue, Blue Silver, Blue Green, Tropic Sunrise, Gold Pearls, Solar Gold, Red i Lilac) utiče na broj čestica i intervale površina čestica pigmenata. Na osnovu dobijenih rezultata izvedeni su sledeći zaključci:

- U neostarenim otiscima pigmenata Blue, Blue Silver, Gold Pearls, Blue Green i Lilac ukupan broj čestica je manji od 18, dok je u pigmentima Solar Gold, Tropic Sunrise i Red ukupan broj čestica veći od 34. Dakle, broj čestica zavisi od prirode i sastava perlescentnog pigmenata.

- U neostarenim otiscima perlescentnih pigmenata, najveći ukupan broj čestica u pigmentima Red i Tropic Sunrise je 2,7 puta viši u odnosu na isti parametar u Blue pigmentu.

- Broj čestica u otisku 72 sata ostarenog perlescentnog pigmenata Red je veći 1,9 puta u odnosu na isti parametar za Blue pigment.

- Broj čestica u 144 sata ostarenom perlescentnom pigmentu Red je veći 2 puta u odnosu na isti parametar za Blue pigment.

- U otiscima ostarenim 72 i 144 sata redosled opadanja ukupnog broja čestica je isti kao i kod neostarenih otisaka.

- Najveću površinu (500 μm²) imaju Gold Pearls i Blue, a najmanju Tropic Sunrise i Lilac (350 μm²) neostareni perlescentni pigmenti. Dodatnim starenjem od 72 i 144 sata intervali površina čestica perlescentnih pigmenata su ujednačeniji u odnosu na iste za netretirane perlescentne pigmente.

- Upoređujući nizove za broj čestica i intervale površina čestica perlescentnih pigmenata uočava se da navedeni parametri perlescentnih pigmenata u neostarenom i ostarenim otiscima ne opadaju u istom nizu.

- Ubrzanim starenjem otisaka ispitivanih perlescentnih pigmenata uočava se povećanje ukupnog broja čestica u intervalu od 106 do 178% za 72 sata i u intervalu od 134 do 240% za 144 sati.

- Povećanje ukupnog broja čestica pigmenata tokom starenja posledica je smanjenja količine veziva i razrušavanja aglomerata čestica.

- Pored sastava pigmenata i vreme starenje je faktor koji utiče na povećanje ukupnog broja čestica u otisku, ali i na njihove površine.

5. LITERATURA

- [1] I. Tomić, "Karakterizacija kolorimetrijskih vrednosti otisaka štampanih goniohromatskim pigmentima". Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2018.
- [2] Y. Melkeri, T. Melkeri, "Effect pigments - Pearlescent pigments (Part 2)", *Popular Plastics and Packaging*. India, Colour Publications Pvt, Ltd., 2017b.
- [3] Prica, M., Adamović, S. (2017) Grafički materijali. Prvo izdanje. Novi Sad, FTN Izdavaštvo.
- [4] Y. Melkeri, T. Melkeri, "Effect pigments - Pearlescent pigments (Part 1)", *Popular Plastics and Packaging*. India, Colour Publications Pvt, Ltd., 2017a.
- [5] <https://www.microscopemaster.com/leitz-microscope.html> (pristupljeno 22.01.2022.)
- [6] <https://manualzz.com/doc/45911734/solarbox> (pristupljeno 22.01.2022.)

Biografija:

Željana Crnojački rođena je u Novom Sadu 1998. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičkog inženjerstva i dizajna odbranila je 2022. godine. kontakt: zeljanaa.crnjacki@gmail.com

Savka Adamović rođena je u Novom Sadu 1976. godine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine, a od 2022. godine je u zvanju vanredni profesor. kontakt: adamovicsavka@uns.ac.rs.

DIGITALNA INK JET ŠTAMPA NA KERAMIČKIM PLOČICAMA**DIGITAL INK JET PRINTING ON CERAMIC TILES**Svetlana Isakov, Nemanja Kašiković, Rastko Milošević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN**

Kratak sadržaj – U okviru rada predstavljen je princip Ink Jet štampe sa akcentom na piezoelektričnu aktivaciju. Za štampu je korišćen grafički sistem EVOLVE EVOeight sa recirkulacijskom glavom za štampu serije Seiko RC 1536. Za potrebe istraživanja je kreirana i odštampana test karta porasta tonskih vrednosti na mat i sjajnim zidnim pločicama u četiri različite rezolucije: 150 dpi, 200 dpi, 250.83 dpi i 360 dpi. Izvršena su merenja CIE Lab vrednosti, razlike boja, porasta tonskih vrednosti, optičke gustine i beline i žutoće. Takođe je odrađena i analiza merenja i rezultata karakteristika keramičkih pločica po standardima koji se koriste za samu proveru kvaliteta pločica. Cilj istraživanja jeste da se vidi kako se princip rada Ink Jet štampe koristi za dekoraciju keramičkih pločica, kao i sama procena kvaliteta štampe, analiza i upoređivanje uzoraka pomoću odgovarajućih metoda, ISO standarda i uređaja.

Ključne reči: Digitalna štampa, Ink Jet, keramičke pločice

Abstract – The paper presents the principle of Ink Jet printing with an emphasis on piezoelectric activation. The EVOLVE EVOeight graphics system with a Seiko RC 1536 series recirculation print head was used for printing. For the needs of the research, a test map of the increase of tonal values on matt and glossy wall tiles in four different resolutions was created and printed: 150 dpi, 200 dpi, 250.83 dpi and 360 dpi. Measurements of CIE Lab values, color differences, increase in tonal values, optical density and whiteness and yellowness were performed. The analysis of measurements and results of characteristics of ceramic tiles according to the standards used for checking the quality of tiles was also performed. The aim of the research is to see how the principle of Ink Jet printing is used for the decoration of ceramic tiles, as well as the assessment of print quality, analysis and comparison of samples using appropriate methods, ISO standards and devices.

Keywords: Digital printing, Ink jet, ceramic tiles

1. UVOD

Ink Jet štampa pruža suštinski drugačiji proces štampanja u odnosu na konvencionalni proces. Kreiranje i taloženje svake male kapljice boje se vrši pod digitalnom kontrolom, tako da svaki uzorak štampan u nizu može da se

razlikuje od drugih, kao i da bude isti. Kod svih Ink Jet postupaka, kapljice za dobru reprodukciju detalja moraju da budu vrlo male i potrebno ih je mnogo za štamparsku sliku i smeju se prskati samo na mestima slike.

Drop on Demand Ink Jet tehnologija je specifična jer se kap proizvodi samo kada je neophodna i dopušta različite izvedbe pojedinačnih kapi boje prema vrsti i načinu postupka. Postoje dva uobičajena tipa aktuatora: Termalni i Piezoelektrični Drop on Demand. Glave za štampanje za obe metode Drop on Demand štampanja obično sadrže stotine odvojenih mlaznica, koje se napajaju iz jednog razvodnika boje, ali svaka se može pojedinačno adresirati. Pošto svaka mlaznica pali samo po potrebi, mlaznice su neaktivne veći deo vremena. To znači da promene u boji na otvorenoj mlaznici (npr. isparavanjem) mogu, nakon nekog vremena, da utiču na performanse te mlaznice kada se sledeći put ispusti boja. U najgorem slučaju, mlaznica može da ne ispali. Drop on Demand zavisi od toga da ima mehanizam za aktiviranje koje će preneti dovoljno energije na odgovarajuću zapreminu tečnosti da bi joj omogućio da formira kap (stvarajući novu površinu) i putuje do podloge razumnom brzinom [1].

Jedna od ogromnih prednosti Ink Jet štampe je mogućnost štampe na velikom broju različitih podloga [2, 3]. Jedna od takvih podloga su i keramičke pločice. Prvi Ink Jet keramički ukrasni štampači su se pojavili oko 2000. godine i imali su lošu pouzdanost sa blokiranim i devijantnim mlaznicama koje su uzorkovale neželjene bele i tamne linije na pločicama.

Štampači su zahtevali često održavanje da bi se uklonile začepjene mlaznice, što je činilo neprikladnim za proizvodnju u punom obimu, a glave štampača su morale da se menjaju više puta po visokim troškovima. Pored toga, slike su bile veoma zrnaste i ne baš privlačne. Naravno, kompanije su počele ulagati i u ovoaj segment, pa se danas veliki borj kvalitetno odštampanih pločica može dobiti Ink Jet tehnikom štampe. Upravo zbog toga je i postavljen cilj rada, a to je da se ispita kvalitet otiska dobijenih štampom pomoću grafičkog sistema EVOLVE EVOeight.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

U eksperimentalnom delu su vršena merenja pomoću spektrodensitometra, radi provere CIE Lab vrednosti, razlike boja, porasta tonskih vrednosti, optičke gustine, i beline i žutoće, a kao podloga su korišćene po četiri zidne pločice, sjajne i mat, na kojima je odštampana karta porasta tonskih vrednosti u rezolucijama 150 dpi, 200 dpi, 250.83 dpi i 360 dpi. Merni instrument, Teckhon SpectroDens, poseduje softver i direktno je povezan sa

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nemanja Kašiković, vanr. prof.

tabelama u Excel-u, tako da su se vrednosti istog trenutka upisivale u tabele.

Mašina na kojoj su štampane pločice je EVOLVE EVOeight sa recirkulacijskom glavom za štampu serije Seiko RC 1536. Mašina za štampu se nalazi u posebnoj kabini, gde je temperatura 23°C. Nakon odštampanih uzoraka, pločice su pečene na temperaturi od 1040°C, 52 minuta.

3. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

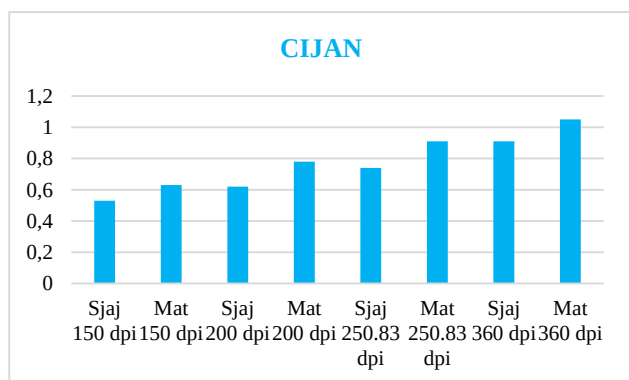
Zbog većeg broja rezultata dobijenih istraživanjem, predstavljeni su rezultati optičke gustine, beline i žutoće keramičke pločice i Lab vrednosti keramičke pločice.

3.1. Optička gustina

Za merenje optičke gustine je bilo potrebno da se prvo merni uređaj kalibriše na samoj podlozi za štampu. Merenje je vršeno na svim podlogama na polju punog tona svake procesne boje (CMYK), po tri puta na različitim mestima. Zatim su izračunate srednje vrednosti i prikazane tabelarno (Tabela 1), kao i grafički (grafici od 1 - 4).

Tabela 1. Srednje vrednosti optičke gustine za sve četiri procesne boje

	C	M	Y	K
Sjaj 150 dpi	0.53	0.93	0.1	0.93
Mat 150 dpi	0.63	0.97	0.11	0.99
Sjaj 200 dpi	0.62	1.13	0.12	1.13
Mat 200 dpi	0.78	1.15	0.15	1.19
Sjaj 250.83 dpi	0.74	1.24	0.14	1.3
Mat 250.83 dpi	0.91	1.2	0.18	1.3
Sjaj 360 dpi	0.91	1.38	0.2	1.48
Mat 360 dpi	1.05	1.23	0.23	1.29

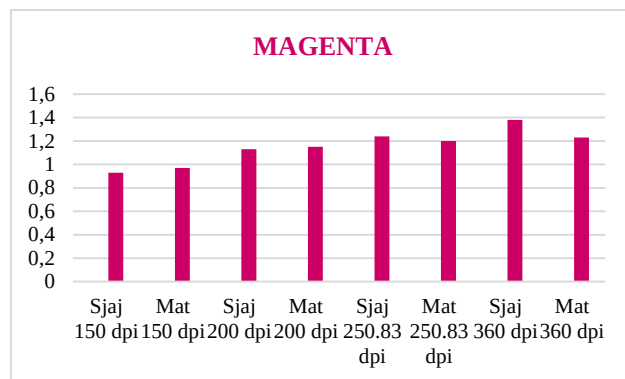


Grafik 1. Grafički prikaz srednjih vrednosti optičke gustine za cijan

Upoređivanjem isključivo sjajnih i isključivo mat podloga, povećava se nanos kako se povećava rezolucija. Kod sjajnih podloga, vrednost između 150 dpi i 200 dpi je povećana za 0.09. Između 200 dpi i 250.83 je vrednost povećana za 0.12, a između 250.83 dpi i 360 dpi je

povećana za 0.17. Kod mat podloga je povećana vrednost između 150 dpi i 200 dpi za 0.15, između 200 dpi i 250.83 dpi je povećana razlika za 0.13, a povećana razlika između 250.83 dpi i 360 dpi je 0.14.

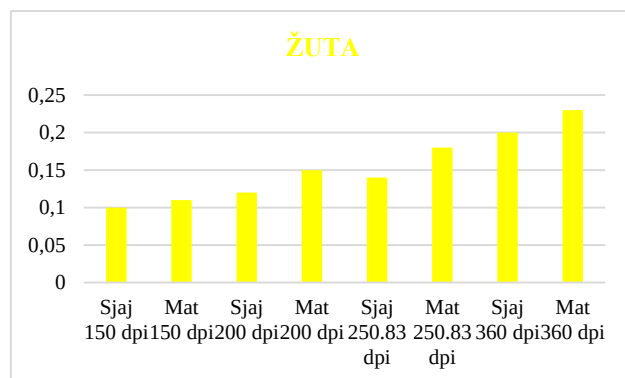
Upoređivanjem istih rezolucija, na različitim podlogama, veće vrednosti imaju mat podloge. Podloge sa rezolucijom 150 dpi imaju razliku vrednosti od 0.1, za podloge sa rezolucijom 200 dpi je razlika 0.16. Za podloge od 250.83 dpi je razlika 0.17, a podloge rezolucije 360 dpi imaju razliku od 0.14.



Grafik 2. Grafički prikaz srednjih vrednosti optičke gustine za magenta

Kao i kod cijana, sa povećanjem rezolucije, povećava se i nanos kod obe vrste podloga. Kod sjajnih podloga, vrednost između 150 dpi i 200 dpi je povećana za 0.2, između 200 dpi i 250.83 dpi je povećana za 0.11, između 250.83 dpi i 360 dpi je povećana za 0.14. Kod mat podloga, između 150 dpi i 200 dpi je povećana vrednost za 0.18, između 200 i 250.83 dpi je za 0.05, i između 250.83 i 360 dpi je povećana vrednost za 0.03.

Kod upoređivanja istih rezolucija na različitim podlogama, veoma su male razlike, ali za razliku od cijana, kod magente, mat podloge prednjače u vrednostima izračunatim u rezolucijama od 150 dpi i 200 dpi, dok su kod rezolucija 250.83 dpi i 360 dpi u prednosti sjajne podloge. Podloge rezolucije 150 dpi imaju razliku vrednosti od 0.04, podloge rezolucije 200 dpi su sa razlikom od 0.02, podloge 250.83 dpi imaju razliku 0.04, a podloge 360 dpi imaju razliku 0.15.

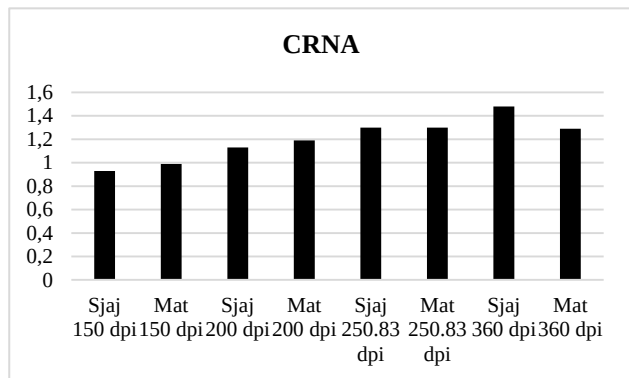


Grafik 3. Grafički prikaz srednjih vrednosti optičke gustine za žutu

Kod žute boje se takođe povećavaju vrednosti kako se povećava rezolucija. Kod sjajnih podloga između 150 dpi i 200 dpi je povećana vrednost za 0.02, između 200 dpi i 250.83 dpi je povećana vrednost za 0.02, između 250.83 i

360 dpi je povećana za 0.06. Kod mat podloga je vrednost između 150 dpi i 200 dpi povećana za 0.04, između 200 dpi i 250.83 dpi za 0.03 i između 250.83 i 360 dpi je povećana vrednost za 0.05.

Upoređivanjem istih rezolucija na različitim podlogama, veće vrednosti imaju mat podloge. Podloge rezolucije 150 dpi imaju razliku vrednosti od 0.01, podloge rezolucije 200 dpi su sa razlikom od 0.03, podloge 250.83 dpi imaju razliku 0.04 i podloge 360 dpi imaju razliku 0.03.



Grafik 4. Grafički prikaz srednjih vrednosti optičke gustine za crnu

Vrednosti crne boje se povećavaju sa povećanjem rezolucije, osim kod mat podloge sa rezolucijom 360 dpi, gde je mali pad vrednosti u odnosu na rezoluciju 250.83 dpi. Povećanje vrednosti sjanih podloga između 150dpi i 200dpi je 0.2, između 200 dpi i 250.83 je povećanje 0.17, a između 250.83 i 360 dpi je 0.18. Mat podloge, između rezolucija 150 dpi i 200 dpi imaju povećanje vrednosti 0.2, između 200 dpi i 250 dpi imaju povećanje 0.11, dok je mali pad vrednosti kod 360 dpi u odnosu na 250.83 dpi, 0.01. Iste rezolucije na različitim podlogama, kod rezolucija 150 dpi i 200 dpi, veće vrednosti imaju mat podloge, kod rezolucije 250.83 dpi su vrednosti izjednačene, a za 360 dpi veću vrednost ima sjajna podloga. Podloge sa rezolucijom 150 dpi imaju razliku vrednosti od 0.06, za podloge sa rezolucijom 200 dpi je razlika 0.06, podloge od 250.83 dpi imaju izjednačene vrednosti i podloge rezolucije 360 dpi imaju razliku od 0.19. Gledajući isključivo vrednosti koje su dobijene štampanjem u rezoluciji od 360 dpi, redosled od najvećeg do najmanjeg nanosa je: crna, magenta, cijan, žuta.

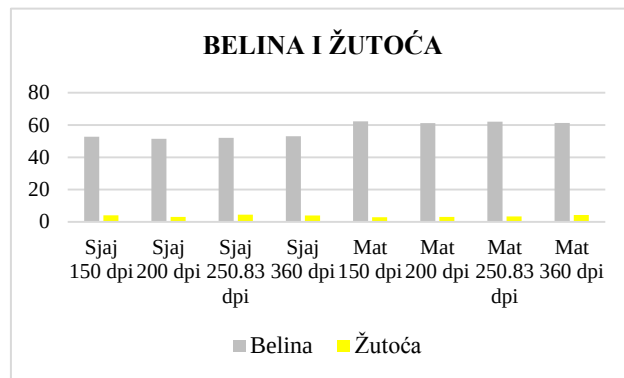
3.2. Belina i žutoća keramičke pločice kao podloge za štampu

Merenje vrednosti za belinu i žutoću podloge je vršeno tako što se merni uređaj kalibrisao na beloj keramičkoj pločici, koja se nalazi u okviru uređaja, sa prethodnim podešavanjem na osvetljenju D65 i uglu posmatranja 10°. Izvršeno je merenje beline i žutoće na svim vrstama podloga, na deset nasumično izabranih polja, na celoj površini koja nije štampana, zatim su izračunate srednje vrednosti, prikazane tabelarno (Tabela 2), kao i grafički (Grafik 5).

Dobijene vrednosti pokazuju da kod uzoraka sjajne podloge postoje veoma male razlike u vrednostima beline i žutoće, kao i kod vrednosti dobijenih kod mat uzoraka. Mat uzorci imaju veće vrednosti beline u odnosu na sjajne podloge, a žutoća je kod obe vrste podloga približnih vrednosti.

Tabela 2. Srednje vrednosti beline i žutoće

	Sjaj 150 dpi	Mat 150 dpi	Sjaj 200 dpi	Mat 200 dpi	Sjaj 250.83 dpi	Mat 250.83 dpi	Sjaj 360 dpi	Mat 360 dpi
Belina	52.78	51.46	52	53.07	62.29	61.15	62.1	61.23
Žutoća	4.06	3.11	4.43	3.95	2.86	3.11	3.39	4.24



Grafik 5. Grafički prikaz srednjih vrednosti beline i žutoće

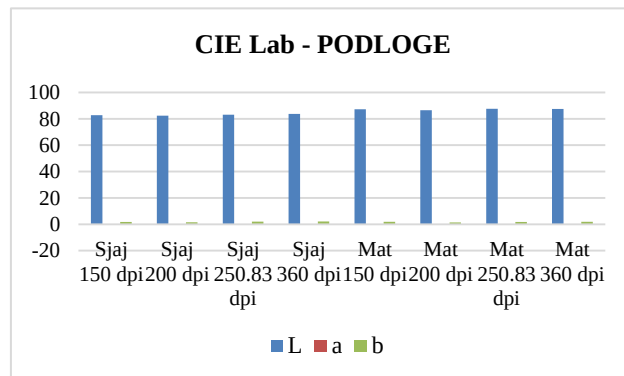
Podloge su bele, sa malim udelom žute i zavise od samog sastava minerala pločica i glazura koje se nanose, ne zavise od rezolucije jer su vrednosti merene na praznim poljima.

3.3. Lab vrednosti keramičke pločice kao podloge za štampu

Lab vrednosti za podlogu su merene tako što se merilo na svim vrstama podloga na 5 nasumično izabranih mesta koje nisu štampane i izračunale su se njihove srednje vrednosti. U tabeli 3 su prikazani rezultati. Grafički prikaz je dat grafikom 6.

Tabela 3. Srednje Lab vrednosti za keramičke pločice kao podloge za štampu

	Sjaj 150 dpi	Sjaj 200 dpi	Sjaj 250.83 dpi	Sjaj 360 dpi	Mat 150 dpi	Mat 200 dpi	Mat 250.83 dpi	Mat 360 dpi
L	82.7	82.34	83.08	83.68	87.29	86.48	87.6	87.52
a	-0.27	-0.23	-0.12	-0.09	-0.11	-0.14	-0.17	-0.15
b	1.74	1.58	2.06	2.15	1.86	1.36	1.73	1.9



Grafik 6. Grafički prikaz srednjih Lab vrednosti za keramičke pločice kao podloge za štampu

Rezolucije u kojima se štampalo ne igraju nikakvu ulogu, jer su merenja vršena na praznim površinama, ali su naznačene radi upoređivanja rezultata.

Kada se posmatra grupa sjajnih pločica, L vrednosti su dosta približne, kao i kod mat. Najveća izmerena vrednost kod sjajnih pločica koja je izmerena je 83.68, a najmanja vrednost je 82.34. Kod mat pločica, najveća izmerena vrednost je 87.6, a najmanja 86.48. Upoređujući dve vrste podloga, najveća izmerena vrednost je 87.6 (mat), a najmanja 82.34 (sjaj). Dobijene vrednosti a za sjajne pločice su malo veće kod prva dva uzorka nego kod druga dva. Najveća izmerena vrednost je -0.27, a najmanja -0.09. Kod mat pločica su vrednosti dosta ujednačene, gde je razlika između najveće i najmanje izračunate vrednosti a -0.06. Poređenjem dve vrste pločica, najmanja i najveća vrednost je izmerena kod sjajnih pločica, -0.27 i -0.09. Vrednosti b , za obe vrste podloga su približne. Najveća za sjajne je 2.15 (što je čini i najvećom kada se upoređuju sjajne i mat), a najmanja je 1.58. Za mat je najveća vrednost 1.86, a najmanja 1.36 (što je čini i najmanjom kada se upoređuju sjajne i mat pločice). Zaključuje se da su sve vrste podloga dosta svetle (L vrednosti), a vrednosti a i b su bliže nuli gde se nalazi siva boja.

4. ZAKLJUČAK

Digitalni pristup je povećao kvalitet keramičkih pločica, omogućio proizvodnju realistične i življe pločice, ali i otvorio nove nivoe dizajna.

Kvalitet štampe zavisi od rezolucije u kojoj se štampa. Pored mašine na kojoj se štampa, bitan faktor jesu glave za štampu, boja koja se koristi i podloga za štampu. Interakcija boje sa podlogom određuje debljinu sloja, a samim tim i kvalitet odštampane slike, posebno u višebojnoj štampi.

U keramičkim aplikacijama, zbog tehničkih problema povezanih sa neorganskim pigmentima, boje cijan, magenta, žuta i crna (CMYK) su u stvarnosti približne. Cijan je skoro dizajnirani nivo, ali magenta ima nizak intenzitet, tako da je osvetljenost smanjena da bi se dobila visoka zasićenost. Žuta je bleđa zbog niske zasićenosti boja, a crna ima crvenu nijansu. Ovo rezultira veoma uskim rasponom boja i potrebno je prilagođavanje originalnih podataka odgovarajućim podacima za štampanje na računaru.

Sastav glazure je veoma bitan faktor za tehnologiju dekoracije keramičkih pločica Ink Jet štampe. Pigmenti se razlažu i tope glazurom u procesu pečenja, jer su pigmenti za keramičke boje veoma fine čestice. Sastav glazure treba optimizovati kako bi se dobio dobar raspon boja. Mnoge vrste metalnih oksida se koriste kao komponente glazure. Ako se moraju koristiti, treba ih svesti na minimum. Kalaj oksid pojačava crvenu boju, ali sve čini crvenkastim. Titanijum oksid pojačava crvenu i žutu boju, ali sve čini žućkastim i smanjuje crnu boju. Oksidi metala utiču na boju i njen sastav glazure treba optimizovati u proizvodnji, posebno uslove pečenja.

Keramika, krhka po prirodi, koja ima složeniju hemiju i zahteva naprednu tehnologiju obrade i opremu za proizvodnju, najbolje funkcioniše kada se kombinuje sa drugim materijalima, kao što su metali i polimeri koji se mogu koristiti kao potporne strukture.

5. LITERATURA

- [1] Martin, G.D., Hutchings, I. M., Inkjet Technology for Digital Fabrication, Inkjet Research Centre, Institute for Manufacturing, University of Cambridge, United Kingdom, 2013.
- [2] Kašiković, N., Novaković, D., Jurič, I., Digitalna štampa, praktikum za vežbe. FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2016
- [3] Novaković, D., Kašiković, N., Digitalna štampa, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2013.

Adresa autora za kontakt

Svetlana Isakov, isakusha@gmail.com

Nemanja Kašiković, knemanja@uns.ac.rs

Rastko Milošević, rastko.m@uns.ac.rs

Grafičko inženjerstvo i dizajn

Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad

ISPITIVANJE EFEKTIVNOSTI DIZAJN TRENDOVA VEB APLIKACIJA UPOTREBOM TEHNOLOGIJE PRAĆENJA POGLEDA I KURSORA**RESEARCHING THE EFFECTIVENESS OF WEB APPLICATION DESIGN TRENDS USING EYE AND CURSOR TRACKING***Sofija Stojinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN**

Kratak sadržaj – Cilj rada podrazumeva ispitivanje načina na koji različiti tipovi navigacije utiču na ponašanje korisnika pri korišćenju veb sajta, odnosno na korisničko iskustvo. Analizi su podvrgnuta dva tipa veb sajt navigacije: standardna horizontalna navigacija i hamburger meni navigacija. Sprovođenje eksperimenta upotrebom eye tracking tehnologije omogućilo je prikupljanje podataka koji su pružili uvid u ponašanje korisnika pri interakciji sa jednim i drugim tipom navigacije. Analiza eye tracking obrazaca skeniranja prototipa veb sajta zajedno sa analizom odgovora ispitanika dobijenih na osnovu ankete pokazale su da, u slučaju veb sajta jednostavne informacione arhitekture, oba tipa navigacije obezbeđuju zadovoljavajuće korisničko iskustvo uz određene međusobne razlike.

Ključne reči: Veb dizajn, UI/UX dizajn, Eye tracking tehnologija, Veb sajt navigacija

Abstract – This paper examines how different types of navigation affect the behavior of users on the website. Two types of website navigation were analyzed: standard horizontal navigation and hamburger menu navigation. An experiment was conducted using eye-tracking technology, which enabled data collection that provided insight into user behavior when interacting with both types of navigation. Analysis of eye-tracking scanning patterns of website prototype and research of the subjects' responses collected by survey revealed that, when it comes to websites with simple information architecture, both types of navigation provide satisfactory user experience with certain differences.

Keywords: Web design, UI/UX design, Eye-tracking technology, Website navigation

1. UVOD

Na samim počecima razvoja veb dizajna, fokus ove multi-disiplinarne oblasti bio je usmeren ka kreiranju veb stranica za desktop pretraživače, dok je danas pretraživanje veb sadržaja sve prisutnije i dominantnije na mobilnim i tablet uređajima.

Iako je hamburger meni navigacija primarno namenjena upotrebi u mobilnim aplikacijama i mobilnim verzijama veb sajta, nekoliko godina unazad prisutan je trend njenog korišćenja kao rešenja za desktop verzije veb sajta.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Neda Milić Keresteš, docent.

Međutim, postavlja se pitanje da li je i koliko ovakav tip navigacije efikasan u odnosu na standardnu horizontalnu navigaciju.

Obraćanje pažnje na način na koji korisnici pretražuju određeni veb sadržaj može pružiti niz izuzetno važnih informacija koje u velikoj meri doprinose kreiranju uspešnog korisničkog iskustva. Generalno govoreći, pretraživanje veb stranice odvija se kroz dvofazni kognitivni proces, pri čemu prva faza obuhvata skeniranje sadržaja sa ciljem pronalaska tačke interesovanja, nakon čega sledi faza pregleda u okviru koje korisnik svoju pažnju usmerava ka tački interesovanja nastavljajući dalje istraživanje u vezi sa njom [1].

Cilj rada upravo predstavlja ispitivanje načina na koji različiti tipovi navigacije utiču na ponašanje korisnika pri korišćenju veb sajta, odnosno na korisničko iskustvo. Praktični deo rada obuhvata sprovođenje eksperimenta upotrebom eye tracking tehnologije, a podrazumeva testiranje dve grupe ispitanika od kojih će jedna testirati veb sajt sa horizontalnom navigacijom, a druga veb sajt sa hamburger meni navigacijom. Cilj je da se na osnovu prikupljenih podataka ispita efektivnost ova dva tipa navigacije.

3. EYE TRACKING TEHNOLOGIJA U OBLASTI UI/UX DIZAJNA

Iako se naš vid čini izuzetno stabilnim, ljudsko oko je u konstantnom pokretu. Ovaj proces kretanja oka može se podeliti na fiksacije i sakade. Fiksacije predstavljaju vremenski kratke pauze kretanja oka na određenim područjima vidnog polja. Sakade sa druge strane predstavljaju brze pokrete oka između dve fiksacije, a omogućavaju kreiranje kompletne scene onoga što je predmet posmatranja [2].

Eye-tracking tehnologija omogućava praćenje pokreta oka, tačke posmatranja, širenja zenica i treptanja posmatrača dajući tako izuzetno važne informacije o subjektu ispitivanja. Prikupljanjem ovakvih podataka dobija se uvid u to gde subjekat ispitivanja usmerava svoju vizuelnu pažnju i šta je ono što propušta tokom ispitivanja, što u velikoj meri može pomoći dizajnerima da bolje razumeju ponašanje korisnika i tako kreiraju bolje korisničko iskustvo [3].

Eye tracking tehnologija pruža uvid u deo nesvesnih ljudskih aktivnosti do kojih nije moguće doći sprovođenjem standardnih metoda istraživanja.

3.1 Princip rada i vizuelizacija

Eye tracking tehnologija kao merni uređaj koristi eye tracker koji prati pokrete oka i beleži informacije o tome gde osoba gleda i koliko dugo zadržava pogled na određenom mestu. Savremeni sistemi za praćenje pokreta oka mogu se svrstati u jednu od sledeće 4 kategorije [4]:

1. Eye tracking sistemi sa stabilizacijom glave;
2. Daljinski eye-tracking sistemi;
3. Mobilni eye tracking sistemi;
4. Integrisani eye tracking sistemi;

Prikupljeni podaci se vizuelno mogu prikazati upotrebom toplotnih mapa, mapa fiksacije pogleda ili mapa fokusa [4].

4. UI/UX DIZAJN

Dizajn korisničkog iskustva (UX) predstavlja multidisciplinarnu oblast koja svoj fokus usmerava ka korisniku, te se tako bavi razumevanjem njegovih potreba, preferencija, sposobnosti i ograničenja pri korišćenju određenog digitalnog proizvoda sa ciljem da se obezbedi što jednostavnija upotreba praćena minimalnim naporom i maksimalnom vrednošću po korisnika [5]. Proces UX dizajna sastoji se od 5 osnovnih faza, a to su: definisanje proizvoda, istraživanje, analiza, dizajn i validacija [6]. UX dizajn je izuzetno široka oblast sačinjena od niza različitih disciplina među kojima su najznačajnije: istraživanje korisnika, informaciona arhitektura, dizajn interakcije i strategija iskustva [7].

Dizajn korisničkog interfejsa predstavlja disciplinu dizajna koja podrazumeva kreiranje korisničkog interfejsa sa fokusom na vizuelni stil proizvoda i njegovu interaktivnost [8]. UI dizajn definiše izgled svih elemenata koji čine jedan digitalni proizvod, kao što su klikabilni dugmići, tekstualni sadržaj, polja za unos teksta, itd. Ovo istovremeno podrazumeva vizuelni izgled ekrana koji sačinjavaju proizvod, svi prelazi i animacije interfejsa, kao i sve mikro interakcije. Osnovni elementi UI dizajna mogu se svrstati u jednu od sledeće 3 kategorije:

1. Kontrole unosa
2. Navigacione komponente
3. Informacione komponente

5. VEBSAJT NAVIGACIJA

Navigacija predstavlja suštinski element svakog veb sajta. Kreiranje adekvatne navigacije u velikoj meri doprinosi postizanju dobrog korisničkog iskustva jer se na taj način obezbeđuje intuitivno kretanje korisnika između stranica veb sajta, ali i jednostavan i brz pristup informacijama koje su im neophodne [9]. Svaki veb sajt poseduje organizovani skup veza koje korisnika vode do različitih stranica koje mogu biti interne (veza u okviru istog sajta) ili eksterne (veza ka drugom sajtu). Primarna funkcija navigacije je obezbeđivanje intuitivnog korisničkog iskustva, dok je njena sekundarna funkcija optimizacija veb sajta za pretraživače.

5.1 Horizontalna navigacija

Horizontalna navigacija predstavlja svojevstan standard kada je reč o veb sajtu navigaciji. Pozicionirana je u zaglavlju veb stranice i sadrži linkove ka glavnim stranicama veb sajta poredane jedan pored drugog u horizontalnoj traci. Jedna od najvećih prednosti ovakve

navigacije jeste prepoznatljivost, s obzirom na to da su usled česte upotrebe korisnici naviknuti na nju i očekuju ovakvu strukturu linkova na veb sajtu. Osim toga, ovakav tip navigacije lako se uklapa u različite izvedbe dizajna hero sekcije, a pruža i mogućnost proširivanja dodavanjem linkova u okviru padajućeg menija (što je korisno za veb sajtove sa složenom informacionom arhitekturom). Kao nedostatak horizontalne navigacije može se navesti ograničen prostor u koji je potrebno smestiti sve linkove koji vode ka različitim stranicama veb sajta.

5.2 Hamburger meni navigacija

Hamburger meni navigacija prvenstveno je namenjena upotrebi u mobilnom veb dizajnu i aplikacijama, ali se danas veoma često koristi i u desktop verzijama veb sajtova. Ovakav pristup dizajniranja navigacije podrazumeva da se linkovi ka stranicama veb sajta skrivaju iza hamburger menikone, a postaju vidljivi sa njenom aktivacijom, usled čega se otvara horizontalni ili vertikalni prozor sa datim linkovima. Jedna od osnovnih prednosti hamburger menij navigacije jeste ušteda prostora na stranici, a to je ujedno i jedan od osnovnih razloga njene upotrebe. Iza hamburger menikone moguće je smestiti veliki broj linkova koji bi korisniku mogli biti od koristi. Takođe, može se koristiti u kombinaciji sa drugim tipovima navigacije sa ciljem da se u okviru nje smeste dodatne informacije, opcije i linkovi koje nije moguće smestiti u okviru glavnog menija. Pomenuta prednost je ujedno i najveći nedostatak hamburger menij navigacije, jer konstantna skrivenost linkova može narušiti intuitivnost korišćenja.

6. EKSPERIMENTALNI DEO

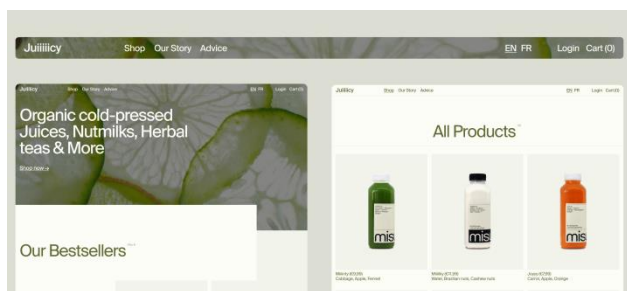
Prototip veb sajta *Juiiiicy* koji će se koristiti za potrebe eksperimenta kreiran je sa ciljem da potencijalnim korisnicima obezbedi neophodne informacije o brendu koji se bavi proizvodnjom prirodnih sokova, kao i jednostavnu kupovinu njihovih proizvoda. Osnovni fokus pri kreiranju veb sajta bio je usmeren ka postizanju intuitivnog korisničkog iskustva koje je praćeno estetski dopadljivim dizajnom. Ispitivanje će biti sprovedeno upotrebom uređaja za praćenje pokreta oka, dok će ispitanici biti podeljeni u dve grupe. Jedna grupa ispitanika testiraće veb sajt sa regularnom horizontalnom navigacijom, a druga verziju identičnog sadržaja sa hamburger menij navigacijom.

6.1 Navigacija Juiiiicy veb sajta

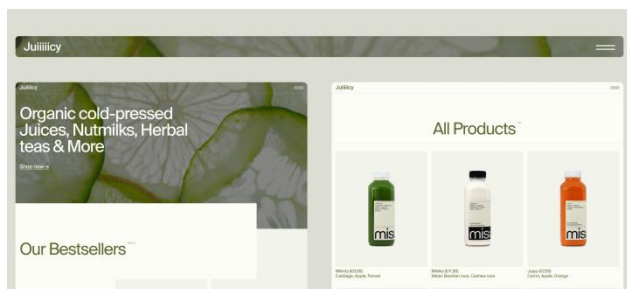
Veb sajt *Juiiiicy* je kreiran u dve verzije. Obe verzije veb sajta karakteriše identičan sadržaj i dizajn, dok se jedina razlika ogleda u primenjenom tipu navigacije. Jedna verzija poseduje horizontalnu navigaciju (Slika 1) u kojoj su svi linkovi ka drugim stranicama vidljivi i lako dostupni, dok druga verzija poseduje hamburger menij navigaciju (Slika 2) u kojoj su linkovi skriveni iza hamburger menikone.

6.2 Ispitanici

Eksperiment je obuhvatao 16 ispitanika, među kojima je 6 ispitanika ženskog pola i 10 ispitanika muškog pola, prosečne starosti 23 godine. Svi ispitanici su svakodnevni korisnici savremene tehnologije i konzumenti ovakvog tipa sadržaja, te je odabrani profil i starosna grupa ispitanika adekvatna za učestvovanje u eksperimentu.



Slika 1. Juiiicy vebsajt sa horizontalnom navigacijom



Slika 2. Juiiicy vebsajt sa hamburger meni navigacijom

6.3 Korišćena oprema i softver

Za potrebe eksperimenta korišćen je uređaj za praćenje pokreta oka *Gazepoint Eye Tracker* u kombinaciji sa softverima *Gazepoint Control* i *Gazepoint Analysis*. *Gazepoint Eye Tracker* je uređaj koji za praćenje pokreta oka koristi kameru za mašinski vid, a uz to poseduje sistem za snimanje i obradu prikupljenih podataka. Softver *Gazepoint Control* omogućio je kalibraciju uređaja za svakog pojedinačnog ispitanika, dok je softver *Gazepoint Analysis* korišćen za praćenje, beleženje i konačnu analizu prikupljenih podataka. Tokom eksperimenta korišćena su dva monitora, od kojih je jedan namenjen pregledanju vebsajta od strane korisnika, dok je drugi korišćen za praćenje i kontrolisanje toka ispitivanja.

6.4 Procedura sprovođenja eksperimenta

Ispitanici su podeljeni u dve grupe, pri čemu se obe grupe sastoje od po 8 ispitanika. Sadržaj i dizajn testiranog vebsajta je isti za obe grupe ispitanika, sa jedinom razlikom koja se ogleda u tipu korišćene navigacije. Prototip vebsajta je klikabilan i kreiran je uz pomoć softvera *Figma*, a ispitanicima je prikazan u okviru *Google Chrome* pretraživača.

Eksperiment je sproveden kroz 4 ključne faze. **Prva faza** podrazumeva kratko objašnjenje ispitanicima o kakvoj vrsti ispitivanja se radi i na koji način mogu da koriste prototip vebsajta koji će im biti predstavljen. Pored toga, u okviru prve faze potrebno je uputiti ispitanike o načinu pozicioniranja tokom ispitivanja, jer su pravilan položaj ispitanika i fokus na ekran od izuzetnog značaja za dobijanje validnih rezultata. **Druga faza** podrazumeva kalibraciju uređaja za praćenje pokreta oka koja se sprovodi uz pomoć softvera *Gazepoint Control* na osnovu 9 tačaka. **Treća faza** označava početak testiranja vebsajta, snimanje ekrana i praćenje ponašanja ispitanika. Prvi zadatak eksperimenta podrazumeva istraživanje sadržaja *Juiiicy* vebsajta u vremenskom intervalu od 120 sekundi. Nakon isteka vremena, ispitanicima je zadat drugi zadatak koji podrazumeva pronazak proizvoda pod nazivom *Teddyyy* na vebsajtu i njegovu kupovinu, tj. dodavanje u

korpu. **Poslednja faza** odvija se nakon završetka testiranja vebsajta, a podrazumeva popunjavanje ankete koja se sastoji od 7 kratkih pitanja sa ciljem da se prikupe dodatne informacije koje mogu biti od koristi za donošenje konačnog zaključka o testiranim tipovima navigacije.

7. REZULTATI I DISKUSIJA ISTRAŽIVANJA

Prvo istraživačko pitanje podrazumevalo je analizu načina kretanja ispitanika kroz vebsajt, kao i načina konzumacije sadržaja koji se na njemu nalazi (da li uočava navigaciju, da li za preusmeravanje na druge stranice koristi linkove u okviru navigacije ili za to koristi alternativne načine, koliko vremena provodi posmatrajući hero sekciju vebsajta).

Drugo istraživačko pitanje odnosilo se na ispitivanje načina na koji korisnici dolaze do proizvoda *Teddyyy*, s obzirom na to da su na raspolaganju imali 3 moguće opcije: link „Shop“ u okviru glavne navigacije, CTA dugme „Shop now“ u okviru hero sekcije i link „Shop our juices“ u okviru prve i treće sekcije vebsajta.

Juiiicy vebsajt sa horizontalnom navigacijom

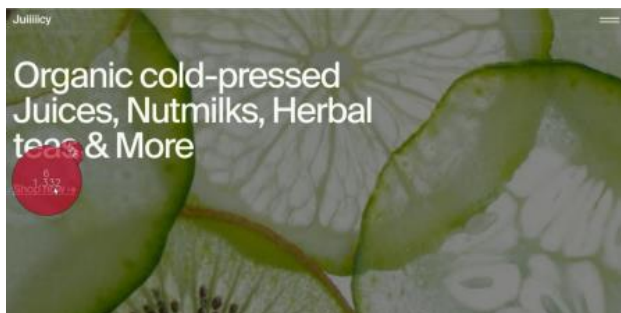
Najveću pažnju ispitanika pri samom učitavanju vebsajta sa horizontalnom navigacijom privukla je slika u okviru hero sekcije vebsajta (Slika 3), dok je svega 2 ispitanika na prvi pogled uočilo navigaciju. Praćenjem broja klikova ustanovljeno je da većina ispitanika za preusmeravanje na druge stranice vebsajta preferira korišćenje navigacionih linkova. Takođe, navigacija se pokazala i kao najčešće rešenje koje su ispitanici odabrali kako bi došli do proizvoda „*Teddyyy*“, pa je tako 4 od 8 ispitanika koristilo navigacioni link „Shop“, 3 ispitanika CTA dugme „Shop now“ i samo 1 ispitanik link „Shop our juices“.



Slika 3. Toplotna mapa koja pokazuje šta je bilo u fokusu posmatranja najvećeg broja ispitanika koji su testirali vebsajt sa horizontalnom navigacijom

Juiiicy vebsajt sa hamburger meni navigacijom

Kao predmet najduže fiksacije ispitanika koji su posmatrali vebsajt sa hamburger meni navigacijom izdvaja se takođe pozadinska slika hero sekcije, s tim da su u ovom slučaju korisnici u prvim sekundama češće pogledali dugme „Shop now“ (Slika 4), dok je hamburger meni ikonicu odmah po učitavanju vebsajta uočio samo jedan ispitanik. I u ovom slučaju, praćenje broja klikova pokazalo je da je najveći broj ispitanika za preusmeravanje na druge stranice vebsajta koristio glavnu navigaciju, u ovom slučaju linkove u okviru hamburger meni ikonice. Način dolaženja do proizvoda „*Teddyyy*“ se podudara sa prethodnom grupom ispitanika.



Slika 4. Mapa fiksacije koja pokazuje predmet najduže fiksacije pogleda kod ispitanika koji su testirali vebsajt sa hamburger meni navigacijom

Analizom podataka prikupljenih na osnovu eye tracking ispitivanja i odgovora ispitanika na pitanja postavljena u okviru ankete, sumirani su određeni zaključci:

- Prosečno vreme posmatranja hero sekcije neznatno je kraće u slučaju vebsajta sa regularnom navigacijom.
- Navigacija je prva uočena odmah po učitavanju vebsajta od strane 2 ispitanika u slučaju vebsajta sa regularnom navigacijom, dok je kod hamburger meni navigacije to bio slučaj samo sa jednim ispitanikom.
- Prosečan broj klikova u prvih 120 sekundi istraživanja vebsajta veći je u slučaju vebsajta sa hamburger meni navigacijom u odnosu na vebsajt sa horizontalnom navigacijom.
- Obe grupe ispitanika većinski su koristile glavni navigacioni link *Shop* (horizontalna navigacija u prvoj grupi i hamburger meni navigacija u drugoj grupi ispitanika) za pronalaženje proizvoda „*Teddy*“.
- Ispitanicima koji su testirali vebsajt sa horizontalnom navigacijom bilo je potrebno manje vremena za pronalazak proizvoda „*Teddy*“ (18.409s) u odnosu na vebsajt sa hamburger meni navigacijom (20.880s).
- Veći broj ispitanika ocenio je vebsajt sa horizontalnom navigacijom kao „veoma jednostavan“ za korišćenje i kretanje između stranica, nego što je to slučaj sa hamburger meni verzijom vebsajta.
- Pamtljivost naziva navigacionih linkova je slična za obe grupe, s tim da su u slučaju horizontalne navigacije ispitanici bolje pamtili linkove pozicionirane na sredini ekrana (*Shop* i *Advice*), zanemarujući one na desnoj strani (*Login* i *Cart*), dok su ispitanici iz hamburger menija upamtili u većem broju opcije *Cart* i *Login*.

7. ZAKLJUČAK

Eye tracking tehnologija omogućava prikupljanje informacija koje su od izuzetnog značaja za unapređenje korisničkog iskustva, ne narušavajući pritom prirodno ponašanje korisnika.

Ona pruža izuzetno precizan uvid u to gde korisnici gledaju tokom korišćenja vebsajta ili aplikacije, koliko dugo zadržavaju pogled na određenim delovima i elementima stranice, na koji način konzumiraju sadržaj (da li ga detaljno čitaju ili samo skeniraju), itd. Sprovođenjem ovakvih ispitivanja veoma lako se mogu detektovati, a samim tim i eliminisati potencijalni problemi veb i mobilnih aplikacija.

Analizom prikupljenih podataka do kojih se došlo sprovođenjem eye tracking eksperimenta utvrđeno je da oba tipa navigacije dobro obavljaju svoju funkciju kada je reč o njihovoj primeni na vebsajtu jednostavne informacione arhitekture. Ni prva, ni druga grupa ispitanika nije imala poteškoća sa kretanjem kroz vebsajt i pronalaženjem proizvoda na njemu. Ipak, vebsajt sa regularnom navigacijom ocenjen je kao „veoma jednostavan“ za korišćenje od strane većeg broja ispitanika nego što je to slučaj sa hamburger meni navigacijom.

Takođe, za približno dve sekunde su ispitanici bili brži u nalaženju sadržaja na drugoj stranici u slučaju horizontalne navigacije.

8. LITERATURA

- [1] J. Bergstrom; A. Schall, „Eye tracking in user experience design“, Morgan Kaufmann, Burlington, Massachusetts, 2014.
- [2] <https://tinyurl.com/382w3cfs> [Pristupljeno: 21.03.2022]
- [3] <https://bdtechtalks.com/2017/01/05/what-is-eye-tracking-technology/> [Pristupljeno: 09.04.2022]
- [4] <https://www.bitbrain.com/blog/eye-tracking-devices> [Pristupljeno: 11.04.2022]
- [5] <https://maze.co/collections/ux-ui-design/what-is-ux/> [Pristupljeno: 17.04.2022]
- [6] <https://tinyurl.com/bdu7xc6n> [Pristupljeno: 21.04.2022]
- [7] <https://tinyurl.com/mu4a9kn3> [Pristupljeno: 04.05.2022]
- [8] <https://maze.co/collections/ux-ui-design/ui-design/> [Pristupljeno: 07.05.2022]
- [9] <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/website-navigation> [Pristupljeno: 15.05.2022]

Kratka biografija:



Sofija Stojinović rođena je u Loznici 1996. god. Godine 2019. diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman Grafičko inženjerstvo i dizajn.

Kontakt: sophia996st@gmail.com

**POSTOJANOST TEKSTILNIH MATERIJALA ODŠTAMPANIH GRAFIČKIM
SISTEMOM POLYPRINT TEXJET ECHO2****DURABILITY OF TEXTILE MATERIALS PRINTED WITH THE POLYPRINT TEXJET
ECHO2 GRAPHIC SYSTEM**

Valentina Došić, Nemanja Kašiković, Rastko Milošević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – U okviru rada predstavljena su istraživanja iz oblasti digitalne štampe. Cilj ovog rada bila je procjena izdržljivosti otiska u boji na tekstilnim materijalima, koji su štampani digitalnom tehnikom štampe (ink jet), pod uticajem toplote i trljanjem. Pri tome je varirana podloga na kojoj je vršena štampa. Štampanje je vršeno na tri tekstilna materijala iste gramature, ali različite boje (bijeli, svijetlo bojeni, tamno bojeni). Ispitivanja su zasnovana na skeniranju uzoraka, mjerenju spektrofotometrijskih vrijednosti, te izlaganju uzoraka pod uticajem toplote i trljanja.

Ključne reči: digitalna štampa, tekstil, kontrola kvaliteta

Abstract – The research has been presented in the field of digital printing. The aim of this paper was to evaluate the durability of color prints on textile materials, which are printed by digital printing technique (ink jet), under the influence of heat and rubbing. The background on which the printing was performed was varied. Printing was performed on three textile materials of the same weight but different colors (white, light colored, dark colored). The tests are based on scanning samples, measuring spectrophotometric values, and exposing samples under the influence of heat and rubbing.

Keywords: digital printing, textiles, quality control

1. UVOD

U današnje vrijeme tehnologija štampe na tekstilu mijenja se brzo i intenzivno. Štampa na tekstilu se može definisati kao proces prenošenja boje na tekstilnu podlogu određenom tehnikom štampe čiji je rezultat otisak na tekstilnom materijalu.

Proces dobijanja otiska na tekstilnom materijalu se može realizovati primjenom sledećih tehnika štampe: sito štampa, štampa pomoću termo transfera i digitalna štampa. Sito štampa je u ovom području i dalje više zastupljena, ali digitalna štampa se sve više probija na tržište, prvenstveno zbog svojih osnovnih prednosti u odnosu na sito štampu [1].

Te prednosti su brža, raznovrsnija priprema i štampa novih poslova, kao i mogućnost štampe sa velikim brojem boja, dobar kontrast i oštre linije na otisku, specijalni

digitalni efekti i mogućnost štampanja velikih formata [1]. Tehnika digitalne štampe koja je najviše rasprostranjena za štampu na tekstilu jeste Ink Jet tehnika [2]. Jedna od bitnih stvari o kojima se mora voditi računa jeste i postojanost odštampanih otisaka, pa je na osnovu toga postavljen cilj rada, a to je da se vidi koliko će postojanost imati otisci dobijeni grafičkim sistemom Polyprint Textjet Echo2.

2. IZVOĐENJE EKSPERIMENTA

Ispitivanje je podrazumjevalo izradu uzoraka u četiri boje CMYK. Referentna polja su formirana na način da su uzorci boja stavljeni u niz, raspoređeni od najtamnijeg do najsvijetlijeg (100%, 50% i 25%), kako za cijan tako i za ostale boje. Nakon formiranja, uzorci su odštampani na Singl Umbro 160 g/m² tekstilnom materijalu u punom tonu.

Štampa je vršena uz pomoć digitalne štamparske mašine TexJet echo2 na tri boje materijala, a to su: bijeli, oker i maslinasti (slika 1).



Slika 1. Mašina za štampu Polyprint TexJet echo 2 [3]

Nakon postupka štampe svi uzorci su analizirani prije procesa uticaja trljanja i toplotnog dejstva, kako bi se tačno znale njihove referentne vrijednosti. Analiziranja su zasnovana na skeniranju uzoraka i mjerenju spektrofotometrijskih vrijednosti pomoću spektrofotometra Techkon SpectroDens Premium. Svaki uzorak je mjereno 4 puta. Mjerene su sledeće vrijednosti: optička gustina, CIE L, a, b i spektralna refleksija. L, a, b vrijednosti su mjerene za osvetljenje D50 i standardnog posmatrača 2°. Prije svake serije trljanja i toplotnog dejstva otisci su skenirani pomoću skenera "CanoScan 5600F". Odštampani uzorci su potom izloženi procesima uticaja toplotnog dejstva i uticaja trljanja.

Sva izlaganja su izvršena prema istim uslovima kako bismo doznali koliko će to dejstvo izmijeniti strukturu materijala i otiska. Ispitivanje se sastojalo iz tri serije. Kod ispitivanja uticaja trljanja prva serija je rađena na 50

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nemanja Kašiković, van. prof.

trljanja, druga na 100 trljanja i treća na 200 trljanja. Veći broj trljanja nije bio dozvoljen zbog kidanja materijala. Trljanje uzoraka je rađeno pomoću “TF411 Electronic Crock Meter” uređaja za trljanje (slika 2).



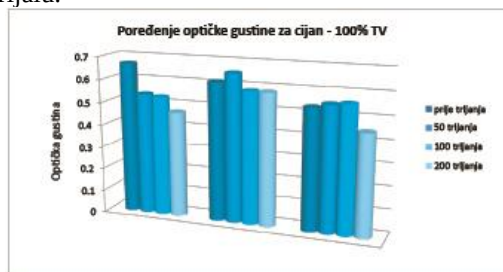
Slika 2. Testex TF411 Electronic Crock Meter [4]

Kod ispitivanja uticaja toplotnog dejstva prva serija je rađena na 160 s (jer je to standardno vrijeme za sušenje boje nakon štampe), druga serija je rađena na 320 s, dok je treća rađena na 480 s. Ispitivanje toplotnog dejstva je vršeno pomoću prese EClam 50V3. Nakon svake serije je vršeno skeniranje uzoraka i mjerile su se vrijednosti boje. Iz tih vrijednosti kasnije je izračunata razlika u boji pomoću jednačina za razliku u boji: ΔE_{76} , ΔE_{94} i ΔE_{00} . Prije i posle svake serije trljanja i toplotnog dejstva mjerene su optičke osobine otisaka, te su zabilježene i vizuelne promjene pomoću skenera. Zbog ograničenosti prostora u nastavku će biti prikazani rezultati merenja uzoraka odštampanih procesnim bojama sa 100% TV, izloženi pod uticajem trljanja.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju predstavljeni su dobijeni rezultati. U okviru analize rezultata biće predstavljene dvije analize: 1. Analiza optičke gustine uzoraka prije i posle izlaganja uticaju trljanja. 2. Analiza razlika u boji između uzoraka prije i nakon izlaganja uticaju trljanja. Ovde je izvršena analiza rezultata srednje vrijednosti razlike u boji dobijene mjernim instrumentom.

Na grafiku 1. predstavljene su vrijednosti optičke gustine prije i posle trljanja za cijan boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 1. Grafički prikaz vrijednosti optičke gustine prije i posle svih serija trljanja za cijan boju 100% TV

Na osnovu dobijenih rezultata, na bijelom materijalu već nakon prve serije trljanja se može uočiti značajna razlika u vrijednostima optičke gustine u odnosu na referentnu vrijednost. Najveća razlika vrijednosti optičke gustine u odnosu na početnu vrijednost, zabilježena je nakon treće serije trljanja i iznosi 0.46. Na svijetlo bojenom materijalu (oker), zabilježena je referentna vrijednost optičke gustine

i iznosi 0.61. Najveća razlika u vrijednostima optičke gustine zabilježena je posle prve serije trljanja gdje je optička gustina krenula da raste i iznosi 0.65. Posle druge serije trljanja, vrijednosti optičke gustine se nisu značajno promijenile. Na tamno bojenom materijalu (maslinastom) zabilježena je početna vrijednost optičke gustine 0.53. Nakon prve i druge serije trljanja vrijednosti optičke gustine su postepeno rasle, dok je nakon treće serije trljanja došlo do naglog pada optičke gustine i ona iznosi 0.44.

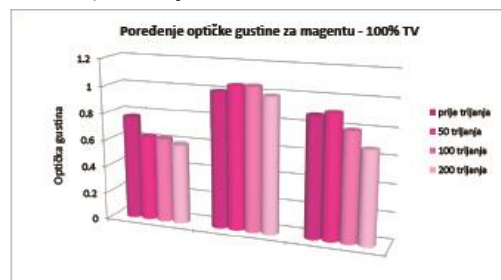
Na grafiku 2. prikazana je razlika u boji za cijan boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 2. Grafički prikaz razlike u boji posle svih serija trljanja za cijan boju 100% TV

Mjerenjem razlike u boji za uzorak cijan boje 100% TV na bijelom materijalu, može se zaključiti da je u pitanju masivna razlika koja je primjetna već posle prvog trljanja. Najveća razlika u boji zabilježena je posle treće serije trljanja i spada u grupu srednjih razlika koju može primjetiti neuvježbano oko. Mjerenjem razlike u boji za uzorak cijan boje 100% TV na svijetlo bojenom (oker) materijalu, može se zaključiti da su vrijednosti razlike u boji posle prve i druge serije trljanja veoma niske, te ih može primjetiti samo iskusno oko. Najveća razlika je zabilježena posle treće serije trljanja i spada u grupu srednjih razlika koju može primjetiti neuvježbano oko. Mjerenjem razlike u boji za uzorak cijan boje 100% TV na tamno bojenom (maslinastom) materijalu, može se zaključiti da vrijednosti razlike u boji posle prve i druge serije trljanja spadaju u grupu srednjih razlika koju može primjetiti neuvježbano oko. Najveća razlika zabilježena je posle trećeg trljanja. Vrijednost razlike u boji nakon treće serije trljanja iznosi 6.61, te je u pitanju masivna razlika.

Na grafiku 3. predstavljene su vrednosti optičke gustine prije i posle trljanja za magenta boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 3. Grafički prikaz vrijednosti optičke gustine prije i posle svih serija trljanja za magenta boju 100% TV

Na osnovu dobijenih rezultata, na bijelom materijalu već nakon prve serije trljanja se može uočiti značajna razlika u vrijednostima optičke gustine u odnosu na referentnu

vrijednost. Najveća razlika vrijednosti optičke gustine u odnosu na početnu vrijednost, zabilježena je nakon treće serije trljanja i iznosi 0.59. Na svijetlo bojenom (oker) materijalu, zabilježena je referentna vrijednost optičke gustine koja iznosi 1. U poređenju sa vrijednostima optičke gustine posle svih serija trenja, nema značajne razlike. Na tamno bojenom materijalu (maslinastom), najveća razlika u vrijednostima optičke gustine zabilježena je posle treće serije trljanja gdje je optička gustina opadala i iznosi 0.67.

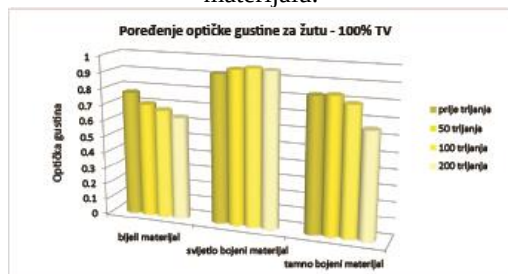
Na grafiku 4. prikazana je razlika u boji za magenta boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 4. Grafički prikaz razlike u boji posle svih serija trljanja za magenta boju 100% TV

Mjerenjem razlike u boji za uzorak magenta boje 100% TV na bijelom materijalu, može se zaključiti da je razlika u boji postepeno rasla posle svake serije trljanja. Najveća razlika zabilježena je nakon treće serije trljanja i iznosi 8.52. Mjerenjem razlike u boji za uzorak magenta boje 100% TV na svijetlo bojenom (oker) materijalu, može se zaključiti da vrijednosti razlike u boji posle prve i druge serije trljanja spadaju u grupu srednjih razlika koju može primjetiti neuvježbano oko. Najveća razlika zabilježena je posle trećeg trljanja i iznosi 4.51, te spada u krupnu razliku. Mjerenjem razlike u boji za uzorak magenta boje 100% TV na tamno bojenom (maslinastom) materijalu, može se zaključiti da je razlika u boji veoma mala posle prve serije trljanja i može je primjetiti samo iskusno oko. Već nakon druge i treće serije trljanja dolazi do naglog rasta razlike u boji, te vrijednosti spadaju u masivne razlike.

Na grafiku 5. predstavljene su vrijednosti optičke gustine prije i posle trljanja za žutu boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 5. Grafički prikaz vrijednosti optičke gustine prije i posle svih serija trljanja za žutu boju 100% TV

Na osnovu dobijenih rezultata, na bijelom materijalu vrijednosti optičke gustine postepeno opadaju sa brojem serija trljanja. Referentna vrijednost iznosi 0.77, dok je

najveća razlika posle treće serije trljanja i iznosi 0.63. Na svijetlo bojenom (oker) materijalu vrijednosti optičke gustine postepeno rastu nakon prve i druge serije trljanja i vrijednost optičke gustine nakon drugog trljanja iznosi 0.96, dok je referentna vrijednost 0.91. Na tamno bojenom (maslinastom) materijalu zabilježena je vrijednost optičke gustine koja iznosi 0.83. Nakon druge serije optička gustina kreće da opada. Najveća razlika u vrijednostima optičke gustine je zabilježena nakon treće serije trljanja i iznosi 0.65.

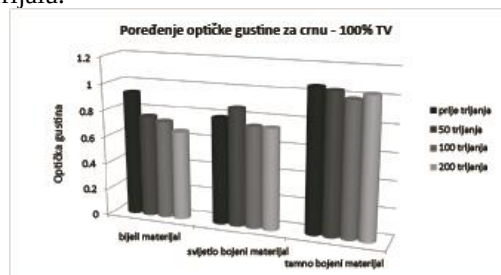
Na grafiku 6. prikazana je razlika u boji za žutu boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 6. Grafički prikaz razlike u boji posle svih serija trljanja za žutu boju 100% TV

Mjerenjem razlike u boji za uzorak žute boje 100% TV na bijelom materijalu, može se zaključiti da je već posle prve serije trljanja razlika u boji primjetna. Najveća razlika u boji je dobijena nakon treće serije trljanja i iznosi 9.03. Mjerenjem razlike u boji za uzorak žute boje 100% TV na svijetlo bojenom (oker) materijalu, može se zaključiti da vrijednosti razlike u boji posle prve i druge serije trljanja spadaju u grupu malih razlika, koju može primjetiti samo iskusno oko. Mjerenjem razlike u boji za uzorak žute boje 100% TV na tamno bojenom (maslinastom) materijalu, može se zaključiti da posle prve serije trljanja razlika u boji ne postoji, razlika se ne može primjetiti. Najveća razlika u boji je zabilježena posle treće serije trljanja i iznosi 12.68. Ova vrijednost odgovara masivnoj razlici.

Na grafiku 7. predstavljene su vrijednosti optičke gustine prije i posle trljanja za crnu boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 7. Grafički prikaz vrijednosti optičke gustine prije i posle svih serija trljanja za crnu boju 100% TV

Na osnovu dobijenih rezultata, na bijelom materijalu vrijednosti optičke gustine opadaju sa brojem serija trljanja. Referentna vrijednost iznosi 0.92, dok je najveća razlika posle treće serije trljanja i iznosi 0.65. Na svijetlo bojenom (oker) materijalu najveća razlika u vrijednostima optičke gustine je zabilježena nakon prve serije trljanja i

iznosi 0.86, dok referentna vrijednost iznosi 0.78. Na tamno bojenom (maslinastom) materijalu zabilježena je vrijednost optičke gustine koja iznosi 1.06. Nakon svih serija trljanja, nije došlo do značajne promjene vrijednosti optičke gustine u odnosu na referentnu vrijednost. Na grafiku 8. prikazana je razlika u boji za crnu boju 100% TV na bijelom, svijetlo bojenom (oker) i tamno bojenom (maslinastom) materijalu.



Grafik 8. Grafički prikaz razlike u boji posle svih serija trljanja za žutu boju 100% TV

Mjerenjem razlike u boji za uzorak crne boje 100% TV na bijelom materijalu, može se zaključiti da razlika u boji postepeno raste posle svih serija trljanja. Posle svih serija trljanja razlika u boji je dosta velika i odgovara masivnoj razlici. Vrijednost razlike u boji posle treće serije trljanja iznosi 10.37. Mjerenjem razlike u boji za uzorak crna boje 100% TV na svijetlo bojenom (oker) materijalu, može se zaključiti da nakon prve i druge serije trljanja nije došlo do značajne razlike.

Posle treće serije trljanja razlika u boji iznosi 3.01 i ona pripada grupi srednjih razlika. Ove razlike može da primjeti neuvježbano oko. Mjerenjem razlike u boji za uzorak crne boje 100% TV na tamno bojenom (maslinastom) materijalu, može se zaključiti da vrijednosti razlike u boji ne odstupaju puno od razlika u boji na svijetlo bojenom materijalu. Najveća razlika u boji je dobijena nakon druge serije trljanja i iznosi 3.05, te spada u grupu srednjih razlika.

4. ZAKLJUČAK

Analiziranjem dobijenih vrijednosti optičke gustine zaključujemo da je do najveće promjene došlo na bijelom materijalu na kojem je odštampana crna boja u 100% TV. Vrijednost optičke gustine prije trljanja je iznosila 0.92, dok je posle trljanja iznosila 0.65.

Poredeći sva tri materijala, dolazimo do zaključka da je u većini slučajeva optička gustina najviše odstupala na bijelom materijalu, otisak je najviše spao sa tkanine.

Na bijelim materijalima za svaku boju (CMYK) optička gustina je nakon svake serije trljanja konstantno opadala. To nije slučaj kod bojenih materijala. Kod svijetlo bojenih i tamno bojenih materijala vrijednost optičke gustine u većini slučajeva odmah nakon prve serije kreće da raste, njen rast se u nekoliko slučajeva nastavlja i nakon druge serije trljanja, dok nakon treće serije trljanja dolazi do njenog pada. Analiziranjem dobijenih vrijednosti razlike u boji zaključujemo da je maksimalna vrijednost razlike na svim bijelim materijalima dobijena nakon treće serije trljanja - imamo konstantan rast.

To nije slučaj kod bojenih materijala, iako maksimalna vrijednost razlike u boji i kod njih preovladava nakon treće serije trljanja ipak ima izuzetaka, gdje dolazi do pada razlike u boji nakon treće serije. Poredeći sve uzorke materijala i boja, možemo da zaključimo da je najveća razlika u boji dobijena kod magenta boje 100% TV na tamno bojenom (maslinastom) materijalu nakon poslednje serije trljanja i iznosi 17.26. Ova vrijednost spada u grupu masivnih razlika.

5. LITERATURA

- [1] Kašiković, N. (2012) Razvoj modela praćenja procesnih parametara štampe tekstilnih materijala. Doktorska disertacija. Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn.
- [2] Novaković, D., Kašiković, N. (2013) Digitalna štampa. Novi Sad, FTN Izdavaštvo
- [3] <https://polyprintdtg.com/texjet-echo2/> (pristupljeno u martu 2022.)
- [4] [TF411 Electronic Crock Meter\(id:4990353\) Product details - View TF411 Electronic Crock Meter from TESTEX Textile Instrument Ltd - EC21](#) (pristupljeno u martu 2022.)

Adresa autora za kontakt

Valentina Došić

E-mail: valentinadosic95@gmail.com

dr Nemanja Kašiković

E-mail: knemanja@uns.ac.rs

dr Rastko Milošević

E-mail: rastko.m@uns.ac.rs

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI IZRADE ŠTAMPAJUĆIH ELEMENATA FLEKSO ŠTAMPARSKJE FORME POMOĆU DLP 3D TEHNOLOGIJE**RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF MAKING PRINTING ELEMENTS OF FLEXO PRINTING FORM USING DLP 3D TECHNOLOGY**

Danica Vićentić, Sandra Dedijer, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – Flekso tehnika štampe beleži najveću inovativno-tehnološku ekspanziju i imajući na umu njen značaj za grafičku industriju i s druge strane tehnologiju 3D štampanja, koja trenutno cveta, javila se potreba za testiranjem mogućnosti kreiranja fleksografske štamparske ploče 3D tehnologijom štampanja. U okviru ovog rada ispitivana je mogućnost izrade flekso štamparske forme, odgovarajućih debljina, sa zadovoljavajućom reprodukcijom štampajućih elemenata u vidu linija i tačaka odgovarajućih širina, odnosno prečnika, postupkom DLP (Direct Light Processing) 3D tehnologije štampe. Na osnovu mikroskopskih snimaka reprodukovanih štampajućih elemenata forme a potom merenja prečnika, odnosno širina štampajućih elemenata u odgovarajućem softveru i analize njihove tačnosti reprodukcije, ukazano je na potencijalne mogućnosti izrade kao i nedostatke.

Ključne reči: DLP tehnologija, flekso štamparske forme

Abstract – Flexo printing technology is experiencing the greatest innovative technological expansion and having in mind its importance for the printing industry and on the other hand 3D printing technology, which is currently flourishing, there is a need to test the possibility of creating flexographic printing plates with 3D printing technology. Within this paper, the possibility of making flexographic printing forms of appropriate thicknesses, with satisfactory reproduction of printing elements in the form of lines and dots of appropriate widths and diameters, by DLP (Direct Light Processing) 3D printing technology, was investigated. Based on microscopic images of reproduced printing elements and the measurements of the diameter and width of printing elements in the appropriate software and analysis of their reproduction accuracy, the potential possibilities of production as well as shortcomings were pointed out.

Keywords: DLP printing technology, flexo printing forms

1. UVOD

Fleksografske ploče za štampu su fleksibilne fotopolimerne ploče, koje se koriste u flekso štampi za prenos boje i slika na fleksibilnu podlogu, poput papira ili filma. Štamparske ploče su ključni element procesa fleksografske štampe i kvalitet odštampane slike u velikoj meri zavisi od kvaliteta korišćenih flekso ploča. Sam flekso postupak dobro je poznat po prilagođavanju štampi na sve

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Sandra Dedijer, vanr. prof.

vrste fleksibilnih podloga, a ploče se mogu ponovo koristiti i za preko milion otisaka.

Uzdignuti delovi forme su jedino područje koje dolazi u kontakt sa podlogom nakon nanošenja boje na ploču. Udubljeni delovi ne dodiruju boju. Prvobitno su flekso ploče izrađivane od gume, a danas su od fotopolimernog materijala. Ploče su dovoljno fleksibilne da se mogu obmotati oko cilindričnih valjaka za štampu [1].

Savremene tehnologije za izradu digitalnih ploča su uključivale upotrebu tehnologija brze izrade prototipa (RP) [2]. Svaka RP tehnologija ima ograničenja koja sprečavaju njenu upotrebu u zavisnosti od konteksta. Ako je potreban radni model, tehnologija mora podržavati funkcionalne parametre dela. Budući da se RP tehnologije sve više koriste u aplikacijama koje nisu prototipi, često se zajednički nazivaju računarsko-automatizovanom proizvodnjom ili slojevitom proizvodnjom [3].

Postoje dve vrste RP-a, aditivni i subtraktivni. Aditivne tehnologije, kao što su 3D štampa (3DP), modeliranje fuzionog taloženja (FDM), stereolitografija (SLA), selektivno lasersko sinterovanje (SLS), grade model sukcesivnim sabiranjem i kohezijom horizontalnih poprečnih preseka. Zbog toga se mogu koristiti za direktnu izgradnju prototipa štamparske ploče [2].

DLP tehnologija štampe spada u aditivne tehnologije, a za polimerizaciju fotopolimerne smole koristi digitalni projektor. Ova tehnologija projektora daje DLP 3D štampanju ogromnu prednost jer se može štampati i polimerizovati pojedinačni sloj preko cele radne ploče u samo nekoliko sekundi [4].

Kvalitet reprodukcije štampajućih elemenata flekso forme igra jednu od najbitnijih parametara koji utiču na konačan kvalitet otiska. Deformacija elemenata može da dovede do nedoslednosti u kvalitetu štampe, kao što je gubitak svetlih tonova ili nepredvidivo povećanje u tonskoj vrednosti. Samim tim je od izuzetne važnosti omogućiti izradu flekso štamparske forme sa minimalnim deformacijama štampajućih elemenata.

2. METODE I MATERIJALI

Kako bismo analizirali i utvrdili mogućnost izrade flekso štamparskih formi pomoću 3D tehnologije štampanja, u softveru Autodesk Inventor najpre su napravljeni 3D modeli štamparskih formi sa štampajućim elementima u vidu tačaka i linija u pozitivu i negativu. Izabrane su tri debljine formi, na osnovu standardnih debljina flekso štamparskih formi koje se proizvode od strane Nyloflex kompanije. U pitanju su debljine od 1.14 mm, 1.70 mm i

2.54 mm. Za svaku od debljina izrađeni su modeli sa tri različita ugla boka tela štampajućeg elementa, od 60, 40 i 30 stepeni. S obzirom da je odmah nakon izrade prvih modela slobodnom vizuelnom procenom utvrđeno da uglovi boka od 60 i 40 stepeni utiču na dobijanje izuzetno loše reprodukcije elemenata, na dalje su štampani samo modeli sa uglom boka elemenata od 30 stepeni. Takođe je primećeno da nije izvodljivo postizanje zadovoljavajuće reprodukcije elemenata u negativu, te su nakon toga štampani modeli sa elementima samo u pozitivu i to na način tako da je za istu debljinu forme istovremeno štampana verzija sa bazom i bez baze.

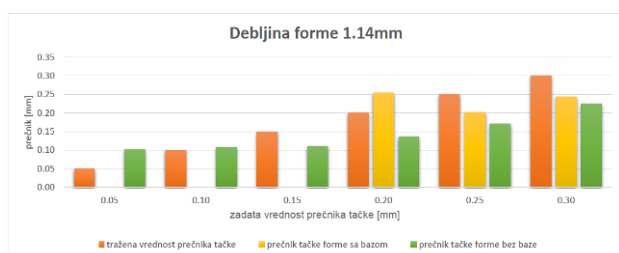
Potom je, za svaki element pojedinačno, napravljen snimak pomoću digitalnog mikroskopa Vitiny (model VT300).

Najpre se vršila analiza rezultata reprodukcije prečnika tačaka i širina linija u pozitivu za štamparske forme sa bazom i bez baze, a potom vizuelna analiza reprodukcije istih za najbolje i najlošije reprodukovanu tačku, odnosno liniju.

3. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA

3.1. Analiza rezultata reprodukcije prečnika tačke u pozitivu

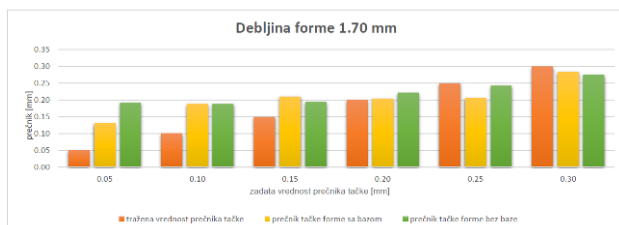
Na slici 1 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih prečnika tačaka forme sa bazom i forme bez baze u odnosu na inicijalno zadate vrednosti za formu debljine 1.14 mm.



Slika 1. Grafički prikaz srednje vrednosti izmerenih prečnika reprodukovanih tačaka forme debljine 1.14 mm

Na osnovu analize dobijenih rezultata može se primetiti da u slučaju forme sa bazom tačke koje imaju manju inicijalno zadatu vrednost prečnika nisu reprodukovane, dok su tačke koje imaju zadatu vrednost preko 0.20 mm reprodukovane sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koje se ne mogu smatrati zanemarljivim.

Na slici 2 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih prečnika tačaka forme sa bazom i forme bez baze u odnosu na inicijalno zadate vrednosti za formu debljine 1.70 mm.

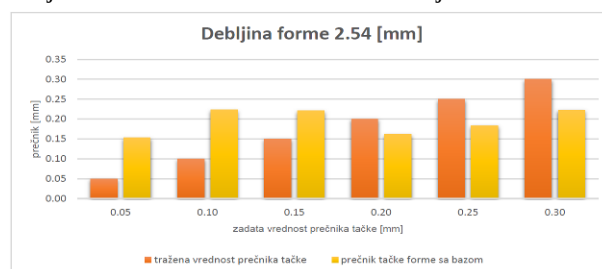


Slika 2. Grafički prikaz srednje vrednosti izmerenih prečnika reprodukovanih tačaka forme debljine 1.70 mm

Na osnovu analize dobijenih rezultata može se primetiti da za inicijalno zadatu vrednost od 0.20 mm za formu sa bazom srednja vrednost je najpribližnija inicijalno zadatoj, dok za formu bez baze takav slučaj se odnosi na inicijalno zadatu vrednost od 0.25 mm. Za formu sa bazom, tačke koje imaju zadatu vrednost ispod i iznad 0.20 mm i za

formu bez baze, tačke koje imaju zadatu vrednost ispod i iznad 0.25 mm reprodukovane su sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koje se ne mogu smatrati zanemarljivim.

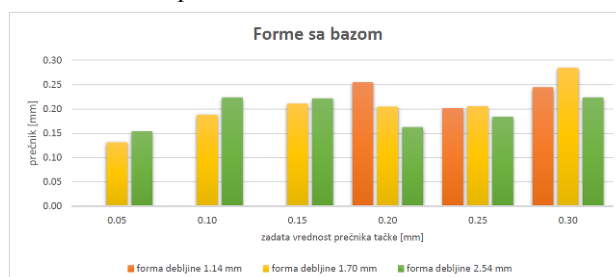
Na slici 3 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih prečnika tačaka forme sa bazom u odnosu na inicijalno zadate vrednosti za formu debljine 2.54 mm.



Slika 3. Grafički prikaz srednje vrednosti izmerenih prečnika reprodukovanih tačaka forme debljine 2.54 mm

Na osnovu analize dobijenih rezultata može se primetiti da su, u slučaju forme sa bazom, prve tri tačke reprodukovane sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koja je manja u odnosu na inicijalno zadatu vrednost i koje se ne mogu smatrati zanemarljivim, dok su poslednje tri tačke reprodukovane sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koja je veća u odnosu na inicijalno zadatu vrednost i koje se takođe ne mogu smatrati zanemarljivim.

Na slici 4 dat je uporedni grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih prečnika tačaka svih formi sa bazom.



Slika 4. Grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih prečnika reprodukovanih tačaka svih formi sa bazom

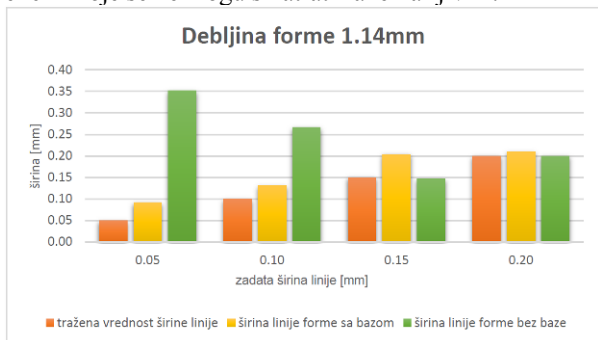
Uporednim prikazom srednjih vrednosti prečnika reprodukovanih tačaka sve tri forme sa bazom može se zaključiti da je najbolju reprodukciju tačaka imala forma debljine 1.70 mm. Ipak i kod ove forme većina srednjih vrednosti ima odstupanja od inicijalno zadate vrednosti koja nisu zanemarljiva, posebno kod tačaka koje imaju manju inicijalno zadatu vrednost. Jedina srednja vrednost koja je bila približno jednaka inicijalno zadatoj vrednosti je ona koja se odnosi na tačku traženog prečnika od 0.20 mm. S druge strane, forma koja ima najveća odstupanja srednje vrednosti reprodukovanih tačaka u odnosu na inicijalno zadatu je forma debljine 1.14 mm.

3.2 Analiza rezultata reprodukcije širine linija u pozitivu

Na slici 5 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih širina linija forme sa bazom i forme bez baze u odnosu na inicijalno zadate vrednosti za formu debljine 1.14 mm.

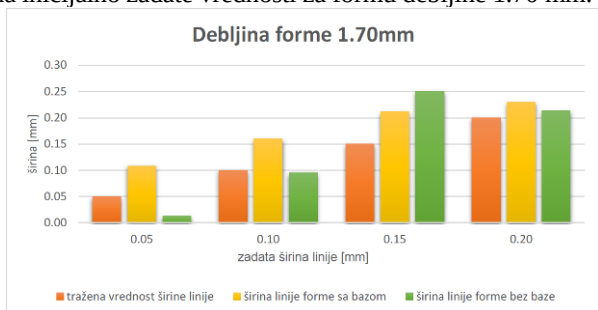
Na osnovu analize dobijenih rezultata može se primetiti da za inicijalno zadatu vrednost od 0.20 mm za formu sa bazom i formu bez baze srednja vrednost je najpribližnija inicijalno zadatoj, s tim da su za formu bez baze ove dve vrednosti jednake. Za inicijalno zadatu vrednost od 0.15 mm za formu bez baze srednja vrednost je približna inicijalno zadatoj, dok sa smanjenjem inicijalno zadate vredno-

sti, odstupanje srednje vrednosti izmerenih širina linije raste i višestruko prelazi zadatu vrednost. Za formu sa bazom, tačke koje imaju zadatu vrednost ispod 0.20 mm reprodukovane su sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koje se ne mogu smatrati zanemarljivim.



Slika 5. Grafički prikaz srednje vrednosti izmerenih širina reprodukovanih linija forme debljine 1.14 mm

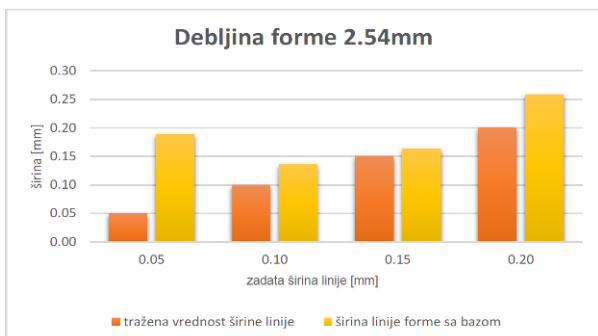
Na slici 6 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih širina linija forme sa bazom i forme bez baze u odnosu na inicijalno zadate vrednosti za formu debljine 1.70 mm.



Slika 6. Grafički prikaz srednje vrednosti izmerenih širina reprodukovanih linija forme debljine 1.70 mm

Na osnovu prethodne analize dobijenih rezultata može se primetiti da za inicijalno zadatu vrednost od 0,20 mm za formu sa bazom srednja vrednost je najpribližnija inicijalno zadatoj. Za inicijalno zadatu vrednost od 0,15 mm za formu bez baze srednja vrednost je najpribližnija inicijalno zadatoj. Za formu sa bazom, širine linija koje imaju zadatu vrednost ispod 0.20 mm reprodukovane su sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koje se ne mogu smatrati zanemarljivim, dok za formu bez baze odstupanje srednje vrednosti izmerenih širina linije višestruko prelaze inicijalno zadatu vrednost, a zatim se sa povećanjem inicijalne vrednosti odstupanje smanjuje. Ipak ni za jednu srednju vrednost to odstupanje nije zanemarljivo.

Na sl. 7 dat je grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih širina linija forme sa bazom i forme bez baze u odnosu na inicijalno zadate vrednosti za formu debljine 2.54 mm.

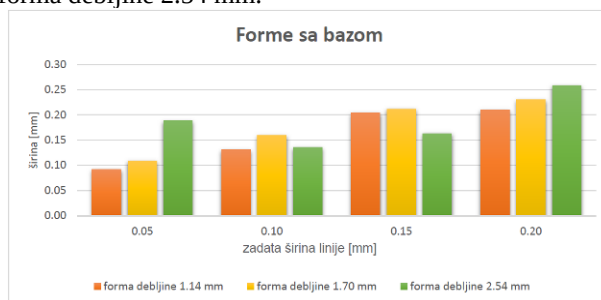


Slika 7. Grafički prikaz srednje vrednosti izmerenih širina reprodukovanih linija forme debljine 2.54 mm

Na osnovu prethodne analize dobijenih rezultata može se primetiti da za inicijalno zadatu vrednost od 0,15 mm za formu sa bazom srednja vrednost je najpribližnija inicijalno zadatoj. Sve ostale srednje vrednosti širine reprodukovanih linija su sa odstupanjima koja ukazuju na promene u veličini koje se ne mogu smatrati zanemarljivim, dok za najmanju inicijalno zadatu vrednost širine linije, odstupanje srednje vrednosti širine linije je višestruko.

Na slici 8 dat je uporedni grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih širina linija svih formi sa bazom.

Uporednim prikazom srednjih vrednosti širina reprodukovanih linija sve tri forme sa bazom može se zaključiti da je najbolju reprodukciju širina linija imala forma debljine 1.14 mm, ali i kod ove forme većina srednjih vrednosti odstupa u meri za koju se ne može reći da je zanemarljiva. S druge strane, najlošiju reprodukciju širine linija imala je forma debljine 2.54 mm.



Slika 8. Grafički prikaz srednjih vrednosti izmerenih širina reprodukovanih linija svih formi sa bazom

3.3. Vizuelna analiza reprodukcije tačaka

Na slici 9 prikazan je mikroskopski snimak reprodukovanih tačaka forme debljine 1.14 mm, čija je inicijalno zadatu vrednost prečnika 0.10 mm.

Prva tačka (levo) predstavlja najlošije reprodukovanu tačku za formu ove debljine i tačka pripada formi koja ima bazu. Vrh ove tačke nije formiran, odnosno može se primetiti nepostojanje stepenastog profila i zaravnjena površina nakon svega par slojeva elementa, što dovodi do zaključka da nisu reprodukovani svi slojevi datog elementa. Takođe, na poslednjem sloju elementa, tj. samoj površini elementa mogu se primetiti nepravilnosti u vidu ogrebotina.

S druge strane, druga tačka (desno) na slici 9, koja ujedno predstavlja najbolje reprodukovanu tačku za formu debljine 1.14 mm, ima jasno formiranu stepenastu strukturu koja se završava na vrhu sa jasno formiranim malim zaravnljenjem u vidu pravilnog kruga, koji predstavlja površinu štampanog elementa. Najbolje reprodukovana tačka pripada formi koja nema bazu.

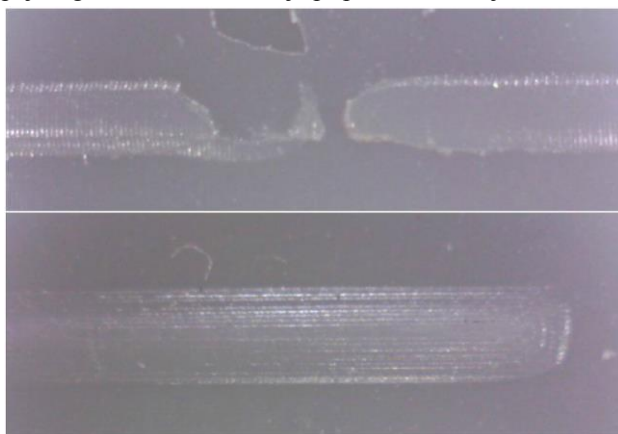


Slika 9. Mikroskopski snimak tačaka forme debljine 1.14 mm, čija je inicijalno zadatu vrednost prečnika 0.10 mm

Na slici 10 prikazan je mikroskopski snimak segmenata reprodukovane linije forme debljine 1.14 mm, čija je inicijalno zadatu vrednost širine 0.05 mm.

Prva slika (gore) predstavlja najlošije reprodukovani segment linije za formu ove debljine i linija priprada formi koja nema bazu. Na osnovu datog snimka može se primetiti da sam vrh linijskog elementa nije formiran, odnosno može se primetiti nepostojanje stepenastog profila elementa koji je karakterističan za ovu vrstu 3D štampe, već zaravnjena površina nakon svega par slojeva elementa, što dovodi do zaključka da nisu reprodukovani svi slojevi datog elementa, dok u jednom delu ovog segmenta nema ni jednog reprodukovano sloja.

S druge strane, drugi segment linije (dole) na slici 10, koja ujedno predstavlja najbolje reprodukovani segment linije za formu debljine 1.14 mm, ima jasno formiranu stepenastu strukturu koja se završava na vrhu sa jasno formiranim malim zaravnjenjem, koji predstavlja površinu štampanog elementa. Ova linija pripada formi koja ima bazu.



Slika 10. Mikroskopski snimak segmenta linije forme debljine 1.14 mm, čija je inicijalno zadata vrednost širine 0.05 mm

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu vršeno je utvrđivanje kvaliteta reprodukcije štampanih elemenata forme izrađene pomoću 3D štampanja, za svaki element pojedinačno, na osnovu analize prečnika tačke i širine linije, kao i vizuelne analize istih. Pri ispitivanju korišćeno je 5 modela štampane forme, štampanih na istom 3D štampanju. Odgovarajućim digitalnim mikroskopom napravljeni su snimci štampanih elemenata (tačaka i linija), na osnovu kojih su izmereni prečnici tačaka, odnosno širine linija. Na osnovu dobijenih rezultata merenja dobijene su srednje vrednosti izmerenih prečnika tačaka, odnosno širina linija. Nakon merenja i utvrđivanja srednjih vrednosti dobijenih rezultata, pristupljeno je analizi reprodukovanih srednjih vrednosti, tako što su dobijene srednje vrednosti poređene sa traženim vrednostima širine linija, odnosno prečnika tačaka.

Na osnovu prethodne analize dobijenih rezultata može se zaključiti da su kod svih formi prisutne promene u veličini prečnika tačaka koje se ne mogu smatrati zanemarljivim. Takođe se može zaključiti da forme sa bazom imaju približnije izmerene vrednosti prečnika zadatim, u odnosu na one bez baze, posebno kod središnjih vrednosti, to su uglavnom tačke zadatog prečnika 0.15 mm i 0.20 mm.

Analiza srednjih vrednosti širina linija kod sve tri forme dovela je do sličnog zaključka. Tačnije, kod svih formi su prisutna odstupanja srednjih vrednosti širina linija u odnosu na inicijalno zadate, koja nisu zanemarljiva, dok su srednje vrednosti izmerenih prečnika bile najpribližnije inicijalnim u središnjim vrednostima širine linije. Za razliku od reprodukcije tačaka, za reprodukciju linija se

ne može reći da je bila uspešnija kod forme sa bazom u odnosu na formu bez baze, s obzirom da je kod nekih linija odstupanje izmerenih od zadatih vrednosti bilo manje kod forme sa bazom, dok kod nekih bez, tako da se za reprodukciju linija može reći da veličina površine prvog sloja modela nije imala uticaj na istu.

Daljim poređenjem sve tri forme sa bazom može se zaključiti da je najbolju reprodukciju tačaka imala forma debljine 1.70 mm, a forma koja je imala najveća odstupanja srednje vrednosti reprodukovanih tačaka u odnosu na inicijalno zadate je forma najmanje debljine (1.14 mm), te se može zaključiti da debljina forme jeste uticala na formiranje tačaka, ali se ne može reći da je sa povećanjem debljina forme preciznost štampe bila bolja ili lošija.

Takođe, uporednom analizom srednjih vrednosti širina reprodukovanih linija sve tri forme sa bazom može se zaključiti da je najbolju reprodukciju linija imala forma debljine 1.14 mm, a najlošiju reprodukciju linija imala je forma debljine 2.54 mm. U ovom slučaju, može se reći da je sa povećanjem debljine forme reprodukcija linija bila lošija.

Kada je u pitanju vizuelna analiza, u većini slučajeva, najbolje reprodukovana tačka, odnosno linija, pripadala je formi koja ima bazu, dok je najlošije reprodukovana tačka, odnosno linija, pripadala formi koja nema bazu. Na osnovu ovog i prethodnih zaključaka može se pretpostaviti da 3D štampanje koji je korišćen za izradu ovih modela ima veću stabilnost i preciznost štampanja ukoliko je veličina površine prvog sloja modela manja, zbog podizanja platforme štampanja.

Na osnovu izvršenih merenja, dobijenih rezultata i analize istih, krajnji zaključak je da postupkom DLP 3D tehnike štampe nisu se mogle izraditi flekso štampane forme sa zadovoljavajućom reprodukcijom štampanih elemenata u pogledu preciznosti i odsustva deformacija štampanih elemenata, ali takođe s druge strane ostaje još prostora za poboljšanje rezultata u pogledu pronalaženja odgovarajuće baze modela, kalibracije štampanja, pozicioniranja modela na platformi štampanja i drugih parametara koji mogu uticati na formiranje štampanih elemenata forme.

5. LITERATURA

- [1] Focus Label Machinery, "WHAT ARE FLEXOGRAPHIC PRINTING PLATES?", [Online] Dostupno na: <https://blog.focuslabel.com/what-are-flexographic-printing-plates/>, [Pristupljeno 30.03.2021.]
- [2] MakerBot Industries, "WHAT ARE THE DIFFERENT TYPES OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES AND 3D PRINTERS?", [Online] Dostupno na: <https://www.makerbot.com/stories/design/types-of-3d-printing-technologies/>, [Pristupljeno 10.05.2021.]
- [3] Renmei Xu, James C. Flowers, "Flexographic Platemaking Using Rapid Prototyping Technologies", [Online] Dostupno na: <https://www.flexoglobal.com/flexomag/09-January/flexomag-xu.htm>, [Pristupljeno 10.05.2021.]
- [4] Shahrubudina N., Leea T.C., Ramlana R., "An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications", [Online] Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919308169>, [Pristupljeno 10.05.2021.]

Adresa autora za kontakt:

Danica Vićentić, vicenticdanica212@gmail.com

Dr Sandra Dedijer, dedijer@uns.ac.rs

**УНАПРЕЂЕЊЕ КВАЛИТЕТА ПРОЦЕСА ИЗРАДЕ КАРТОНСКЕ АМБАЛАЖЕ
ЗА ТЕЧНУ ХРАНУ****IMPROVING THE QUALITY OF THE CARDBOARD PACKAGING PROCESS
FOR LIQUID FOOD**

Иван Радисављевић, Стефан Ђурђевић, Драгољуб Новаковић,
Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област - ГРАФИЧКО ИНЖЕЊЕРСТВО И
ДИЗАЈН**

Кратак садржај - У овом раду приказане су теоријске основе графичке амбалаже, процес производње амбалаже, рачунарске припреме и репродукције боја. Експериментални део обухвата осврт на апликације за графичку припрему, уређаје за контролу квалитета репродукције боја, уређаје за израду пробног отиска и сам процес унапређења и контроле квалитета репродукције боја.

Кључне речи: Графичка амбалажа, процес, унапређење, припрема штампе, репродукција боја, контрола квалитета

Abstract - This paper presents the theoretical foundations of graphic packaging, the process of packaging production, computer preparation and color reproduction. The experimental part includes a review of applications for graphic preparation, devices for quality control of color reproduction, devices for making a test print and the process of improving and quality control of color reproduction.

Key words: Graphic packaging, process, improvement, prepress, color reproduction, quality control

1. УВОД

Сви производи на свету, а исто тако и графички, неопходна су потреба друштва. Преко њих се исказује мисао, која допире до корисника и преноси одређену поруку. Графичка индустрија је та која задовољава такву потребу, па њени производи имају посебну вредност, како у односу на писану, тако и у односу на материјалну вредност издања.

Графичка индустрија је уско повезана са другим индустријским гранама и у великој мери зависи од њих, а значајно потпомаже њихов развој. Бројне графичке технике нашле су широку примену у индустријама амбалаже, електронике, фармације, козметике, текстила и других индустријских грана.

Улога амбалаже је да пружи заштиту упакованом производу од механичких, физичкохемијских, микробиолошких и биолошких промена насталих услед деловања фактора спољашне средине и

временских фактора. Преко 90% производа пакује се у амбалажи, ради чувања производа.

Значај амбалаже за човечанство у данашње време је огроман, а тиме и материјала који се користе за израду исте. Због све захтевнијих потреба амбалажне и графичке индустрије, развијене су нове технологије за производњу разних врста амбалажних и графичких материјала. Нови трендови су нарочито присутни у производњи папира, картона и лепенке, који учествују са више од 50 % у материјалима за амбалажну индустрију.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО РАДА

Експериментални део рада обухвата детаљан процес стандардизације и контроле квалитета репродукција боја, кроз графичку припрему и употребу уређаја за израду пробног отиска и контролу квалитета.

Радни ток графичке припреме подразумева пријем дизајна од стране купца тј. наручиоца посла, рад на њему са применом целокупне спецификације, поновно слање купцу на одобрење и након одобрења, дизајн се шаље на штампу.

Уређаје за контролу квалитета репродукције представљају професионални монитор EIZO CG2420, као и x-rite eXact Advanced спектрофотометр и x-rite i1i0 са i1Pro 3 спектрофотометром.

У уређаје за израду пробног отиска спадају штампачи Epson SureColor SC-P7000 и Epson SureColor SC-S80610.

Алгоритам унапређења квалитета процеса израде картонске амбалаже за течну храну, са акцентом на репродукцију боја, приказан је на слици 1.

Циљ је квалитетна репродукција боја, тј. добити приближно исти отисак боје као што је на оригиналу (узорку).

Калибрацијом можемо уклонити или ублажити проблеме репродукције боја. То се врши подешавањем улазних, излазних и уређаја за контролу и мерење боја, као и правилним употребом система за управљање бојама.

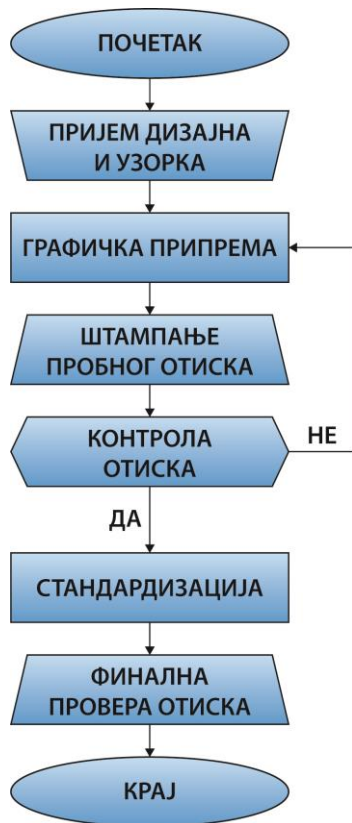
Како би унапредили процес репродукције боја, неопходно је користити методе контроле квалитета те исте репродукције боја.

Најједноставнија и основна метода, али не тако ефикасна, може бити визуелно упоређивање оригинала са одштампаним отиском.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Стефан Ђурђевић, доцент.

Остале методе које могу унапредити процес репродукције и контроле боја су методе мерења спектрофотометријским уређајима, где се могу измерити разне вредности боја на оригиналу, контролној мерној траци или колорним картама, и применити их на дизајн који треба одштампати. Такође, веома битан део у унапређењу и контроли квалитета репродукције боја је и стандардизација репродукције и управљање бојама.



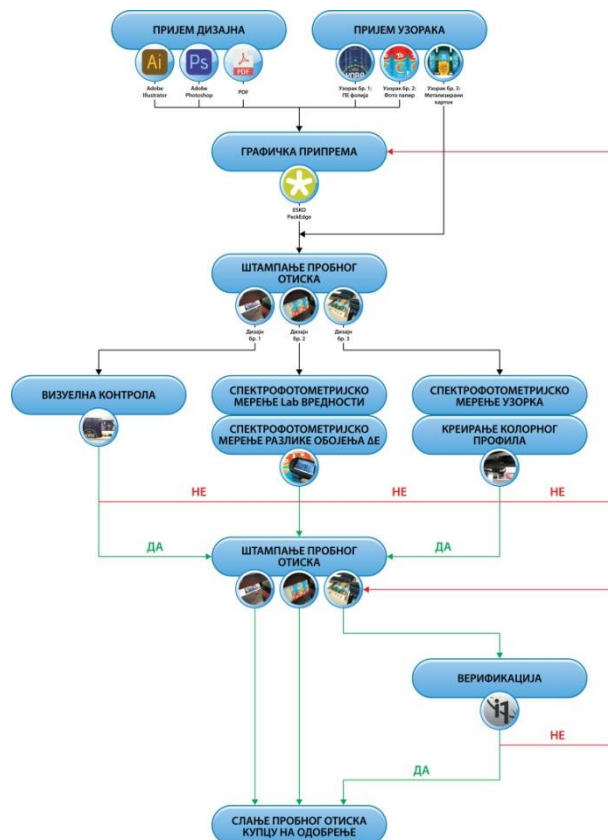
Слика 1. Алгоритам унапређења квалитета процеса израде картонске амбалаже за течну храну

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА КОНТРОЛА И УНАПРЕЂЕЊЕ КВАЛИТЕТА РЕПРОДУКЦИЈЕ БОЈА У ИЗРАДИ КАРТОНСКЕ АМБАЛАЖЕ ЗА ТЕЧНУ ХРАНУ

Експериментална контрола је осмишљена тако што ће се вршити на три различита узорка. Први штампани узорак је направљен од полиетилена (РЕ), други је штампан на полумат фото папиру и трећи на метализираном картону.

Процесом графичке припреме, израдом пробног отиска, контролом узорака и пробних отисака и достизањем одговарајућег квалитета, доћи ћемо до кључних унапређења у процесу репродукције боја у изради картонске амбалаже за течну храну.

План експерименталних контрола обухвата навођење и објашњење карактеристика узорака, затим процес графичке припреме, израду пробних отисака, контролу пробних отисака у односу на узорак, евентуална корекција боја и поновно штампање пробног отиска. Након тога следи дискусија резултата контроле и унапређења квалитета репродукције боја. Алгоритам експерименталне контроле и унапређења квалитета репродукције боја приказан је на слици 2.



Слика 2. Алгоритам експерименталне контроле и унапређења квалитета репродукције боја

3.1 Узорак штампан на полиетиленској (РЕ) фолији

Узорак је штампан на полиетиленској фолији. Састоји се из два слоја фолије. Штампа је урађена на фолији ниске густине (LDPE) са спољашње стране, док је унутрашњи слој такође полиетиленска фолија ниске густине, који је у додиру са храном. Спојени су процесом ламинације, тј. процесом сувог каширања лепком без растварача. Лепкови без растварача су еколошки прихватљивији и потпуно су здравствено исправни. Боје су нитроцелулозне (NC) (Слика 3) [1].



Слика 3. Узорак штампан на полиетиленској (РЕ) фолији

Након извршене комплетне графичке припреме, штампа се пробни отисак на штампачу, који је претходно калибрисан и прилагођен да симулира штампу на материјалу тј. вишеслојном картону за паковање течне хране.

Када је штампање пробног отиска завршено, врши се прва визуелна контрола. Контрола се врши на профе-

сионалним сертифицикованим лампама, тако што се узорак и пробни отисак позиционирају један поред другог, и визуелно се контролише боја пробног отиска у односу на узорак [2]. Десеторо колега врши визуелну контролу искључиво заједничких елемената. У овом случају су то љубичасти делови позадине, као и наранџасти и жути делови илустрације.

Приликом визуелне контроле, свако од учесника, тј. контролора, бележи своју оцену визуелног подударња боја између пробног отиска и узорка, која може бити у распону од 1 до 10. Оцене прве визуелне контроле дати су у табели 1.

Контролор	Бр. 1	Бр. 2	Бр. 3	Бр. 4	Бр. 5	Бр. 6	Бр. 7	Бр. 8	Бр. 9	Бр. 10	Просек
оцена											
Љубичасти ел.	6	6	7	5	4	7	6	4	4	6	5,5
Наранџасти ел.	4	3	5	4	4	5	3	2	5	5	4
Жути ел.	2	2	3	4	3	2	4	4	3	3	3

Табела 1. Оцене прве визуелне контроле

Након визуелне контроле и оцењивања, закључено је да се боје контролисаних елемената на пробном отиску доста разликују, те да се морају колорно приближити узорку. С обзиром да је овај дизајн састављен искључиво од векторских елемената, колорне разлике можемо лако исконтролисати уз помоћ колорне карте.

Након извршене прве визуелне контроле и примене процената из колорне карте, врши се поновно штампање пробног отиска. Затим се нови одштампани пробни отисак поново визуелно упоређује са узорком. Након завршене визуелне контроле, контролори бележе своју нову оцену визуелног подударња боја између новог пробног отиска и узорка. Оцене завршене визуелне контроле дати су у табели 2.

Контролор	Бр. 1	Бр. 2	Бр. 3	Бр. 4	Бр. 5	Бр. 6	Бр. 7	Бр. 8	Бр. 9	Бр. 10	Просек
оцена											
Љубичасти ел.	10	9	10	8	7	10	9	7	8	10	8,8
Наранџасти ел.	10	10	10	9	10	8	7	9	10	8	9,1
Жути ел.	9	9	8	7	8	8	9	10	9	8	8,5

Табела 2. Оцене завршене визуелне контроле

• Дискусија резултата:

Боја позадине је усаглашена из другог пута, из разлога што је на послатом дизајну била направљена из све четири процесне боје, а пожељно је било да се направи из три. На крају је добијен резултат из цијана, магенте и црне, и то у процентима за С: 70%, М: 70% и К: 40%, док је жута била вишак. Пошто се колорне карте углавном креирају за комбинације двеју процесних боја, а врло ретко за три, понекад је потребно наменски креирати и такве комбинације боја, што је у овом случају и урађено.

Наранџасти елементи направљени из две процесне боје, магенте и жуте: М: 27%, Y: 100%. Овде није било превише одступања у процентима магенте, док је проценат жуте остао непромењен.

Жути елементи су убојени само из жуте: Y: 22%. Овде постоји делимична разлика, из разлога што је визуелни осећај ове боје на узорку скоро као да и нема процената жуте боје. На основу спецификације за флексо штампу, минимални проценат боје је 2%, те је тај проценат и примењен.

Кључно унапређење при визуелној контроли отисака, је да можемо користити колорне карте како би драстично уштедели време при усаглашавању боја на дизајну у односу на узорак, и самим тим добили квалитетан дизајн који даље може ићи без проблема у процес штампе.

3.2 Узорак штампан на полумат фото папиру

Узорак који је послат ради усаглашавања боја са дизајном, а који ће се штампати на премазном дуплекс картону техником флексо штампе, штампан је на полумат фото папиру техником дигиталне штампе (Слика 4).



Слика 4. Узорак штампан на полумат фото папиру

Полумат фото папири погодани су за репродукцију боја у највишем квалитету. Отисак се беома брзо суши. Производе се најчешће у граматури од 260 g/m². Поседују фини завршни премаз који даје минимални одсјај. Такође, обезбеђује највиши квалитет колорне (CMYK) штампе, а исто тако и спот (Pantone) штампе. Дебљине је 254 µm [3].

Након штампања пробног отиска, приступа се колорном усаглашавању уз помоћ спектрофотометријског уређаја. Пре самог спектрофотометријског мерења, потребно је поставити узорак и одштампани пробни отисак, један поред другог, на лампи за контролу отисака. Тиме се визуелно уочавају делови дизајна које треба колорно прилагодити. На основу визуелне контроле и увида у број боја на самој припреми за штампу, обележавају се делови које треба спектрофотометријски мерити и колорно прилагодити узорку.

У овом случају, уочено је да је потребно прилагодити два векторска елемента. То су жути и плави елементи дизајна.

Прво, приступамо мерењу Lab вредности претходно договорених векторских елемента на узорку, а то су жути и плави елементи.

Поступак мерења подразумева да се уз помоћ спектрофотометра изврши мерење Lab вредности на десет различитих места датог обојења [4].

На основу очитаних вредности на спектрофотометријском уређају, резултате мерења за L, a, и b параметре уносимо у табелу и израчунавамо просек, тј. њихову средњу вредност. Lab вредности и средња вредност жутих и плавих елемента, дате су у табели 3.

	Lab	Редни број мерења										Просек
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Жути ел.	L	79,26	79,03	79,47	79,23	79,30	79,49	79,35	78,91	79,20	79,06	79,23
	a	7,20	7,27	6,92	7,15	7,12	6,78	6,92	7,22	7,13	7,12	7,08
	b	80,97	80,77	80,57	80,94	83,24	82,22	80,86	81,05	80,19	79,63	81,04
Плави ел.	L	63,95	63,88	63,76	63,84	63,87	63,82	63,94	63,89	63,97	64,13	63,91
	a	-26,42	-26,56	-26,66	-26,44	-26,31	-26,61	-26,37	-26,38	-26,56	-26,38	-26,47
	b	-39,47	-39,19	-39,17	-39,47	-39,59	-38,68	-39,02	-39,10	-38,93	-38,74	-39,14

Табела 3. Резултати мерења Lab вредности и њихов просек

Након израчунавања просечних Lab вредности за жуте и плаве елементе, просечне вредности из табеле се уносе у ESKO PackEdge апликацији и добијају се конвертоване CMYK вредности за боје ова два елемента [5].

Како би се уверили да је су измерене вредности и аплицирани проценти боја меродавни при спектрофотометријској контроли, приступа се мерењу разлике обојења (ΔE) тих елемената на поновно одштампаном пробном отиску [4]. Прво се спектрофотометријским уређајем мери референтни узорак дела дизајна који се упоређује, а затим се исти тај део дизајна мери на пробном отиску, и то по десет пута. На екрану уређаја се добија вредност разлике обојења тј. ΔE .

Вредности мерења разлике обојења и њене средње вредности за жуте и плаве елементе дате су у табели 4.

	ΔE	Редни број мерења										Просек
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Жути ел.	ΔE	1,53	1,36	1,44	1,52	1,56	1,45	1,54	1,46	1,93	2,03	1,58
Плави ел.	ΔE	1,87	2,04	1,98	1,99	2,09	2,07	1,27	1,43	1,36	1,45	1,75

Табела 4. Резултати мерења разлике обојења ΔE и њихов просек

У конкретном случају, ова два обојења на дизајну имају средњу вредности ΔE приближну 2, жути $\Delta E \approx 1,58$ и плави $\Delta E \approx 1,75$.

• Дискусија резултата:

Спектрофотометријска контрола се показала као врло поуздан метод при професионалној контроли репродукције боја.

Боје које су контролисане, жута и плава, усаглашене су са узорком за врло кратко време. Након пуштеног првог пробног отиска и визуелним уочавањем одступања у обојењу, приступило се мерењу Lab вредности. Тиме је значајно скраћено време за добијање конкретних % боја поменутих елемената. Следећим пуштањем новог пробног отиска и мерењем разлике обојења између њега и узорка, долази се до коначне потврде да је добијени резултат без већих одступања.

Жути део је направљен из магенте и жуте (M: 11 %; Y: 100 %), док је плави направљен само из цијана (C: 75 %). Наранџасти део је убојен у спот боју, док је растерски део стилизоване поморанџе колорно прилагођен узорку визуелном методом, са минималном дорадом нијанси.

Долазимо до закључка, да се спектрофото-метријском контролом отисака, мерењем Lab вредности и мерењем разлике овојења (ΔE), знатно добија на квалитету при раду и контроли репродукције боја, а исто тако се скраћује и време рада у припреми за

штампу у односу на визуелну методу контроле. Ово представља значајан вид унапређења, јер се спектрофотометријским прорачуном добија отисак са прецизним и математички тачним вредностима

3.3 Узорак штампан на метализованом картону

Картон са метализованом полиестерском (PET) ламинацијом користи се за софистициране видове амбалаже. Метализирани слој има изузетну глаткоћу, чиме постиже одличан квалитет репродукције слика. Може се користити у офсет, дубокој и флексо штампи. Заједничко за све методе штампе је да морају користити боје намењене за неупијајуће материјале [6]. Узорак који је послат ради верификације боја са узорком, штампан је на баш таквом картону (Слика 5).



Слика 5. Узорак штампан на метализованом картону

За овај дизајн је већ урађена припрема, али купац (произвођач) жели да буде сигуран да ли отисак пролази верификацију колорног профила који је направљен за штампу на метализованој подлози.

Колорни профил се прави тако што се узорак са контролном мерном траком спектрофотометријски мери на x-rite i1iO роботском систему [7]. Потребно је извршити три мерења како би се добиле оптималне средње вредности. Након мерења, креирани профил се аутоматски снима у софтверу ilProfiler, који ће убудуће служити као референца за верификацију одштампаног пробног отиска [8].

Након штампе пробног отиска, врши се верификација пробног отиска на основу претходно снимљеног колорног профила.

Након извршених трију верификација првог пробног отиска, резултати верификације нису валидни. Неки од параметара одскачу од дозвољених вредности.

Главне вредности трију верификација првог пробног отиска дате су у табели 5.

Резултати трију верификација првог пробног отиска показују да резултати спектрофотометријског мерења нису добри, тј. неке вредности не пролазе верификацију у софтверу ilProfiler. Из тог разлога, приступа се опцијама одржавања и врши се стандардно одржавање уређаја за пробни отисак.

Параметар		Измерене вредности			Референтне вредности	Валидација		
		1.	2.	3.		1.	2.	3.
ΔE	Разлика обојења за папир (<i>Paper</i>)	0,7	0,7	0,7	3,0	✓	✓	✓
	Разлика обојења просечних вредности свих поља (<i>All patches - Avg</i>)	1,9	2,1	2,0	2,5	✓	✓	✓
	Разлика обојења максималних вредности свих поља (<i>All patches - Max</i>)	6,1	6,2	6,1	5,0	✗	✗	✗
	Разлика обојења максималних вредности примарних поља (<i>Primaries - Max</i>)	2,7	2,5	2,5	3,0	✓	✓	✓
ΔH	Разлика тона боје максималних вредности примарних поља (<i>Primaries - Max</i>)	0,5	0,6	0,8	2,5	✓	✓	✓
ΔCh	Разлика засићења боје просечних вредности сивог тона (<i>Composite Grays - Avg</i>)	2,3	2,3	2,2	2,0	✗	✗	✗
	Разлика засићења боје максималних вредности сивог тона (<i>Composite Grays - Max</i>)	4,2	4,3	4,2	3,5	✗	✗	✗

Табела 5. Резултати верификације првог пробног отиска

Уређај Epson SureColor SC-S80610 има софистициран програм провере свих параметара за штампу, као и њихово аутоматско одржавање [9].

Одабиром опције за проверу млазница уређаја (Nozzle Check), приступамо аутоматској провери свих млазница. Након извршене провере од стране програма, уређај штампа контролни отисак.

Увидом у контролни отисак, види се да су неке од млазница делимично запушене, а то се види тако што су неке контролне линије у прекиду. Због запушености млазница штампача, приступа се опцији чишћења млазница.

Након успешног чишћења млазница, штампа се нови пробни отисак и подвргава се новој верификацији.

Након извршених нових трију верификација поновног пробног отиска, установило се да су резултати верификације валидни и у складу са референтним вредностима.

Главне вредности трију верификација поновног пробног отиска дате су у табели 6.

Параметар		Измерене вредности			Референтне вредности	Валидација		
		1.	2.	3.		1.	2.	3.
ΔE	Разлика обојења за папир (<i>Paper</i>)	0,7	0,7	0,7	3,0	✓	✓	✓
	Разлика обојења просечних вредности свих поља (<i>All patches - Avg</i>)	1,9	2,1	2,0	2,5	✓	✓	✓
	Разлика обојења максималних вредности свих поља (<i>All patches - Max</i>)	6,1	6,2	6,1	5,0	✗	✗	✗
	Разлика обојења максималних вредности примарних поља (<i>Primaries - Max</i>)	2,7	2,5	2,5	3,0	✓	✓	✓
ΔH	Разлика тона боје максималних вредности примарних поља (<i>Primaries - Max</i>)	0,5	0,6	0,8	2,5	✓	✓	✓
ΔCh	Разлика засићења боје просечних вредности сивог тона (<i>Composite Grays - Avg</i>)	2,3	2,3	2,2	2,0	✗	✗	✗
	Разлика засићења боје максималних вредности сивог тона (<i>Composite Grays - Max</i>)	4,2	4,3	4,2	3,5	✗	✗	✗

Табела 6. Резултати верификације поновног пробног отиска

• Дискусија резултата:

Резултати завршне верификације показују да су вредности у дозвољеном опсегу, и то за параметре разлике обојења за папир, просечних и максималних вредности свих поља, максималних вредности примарних поља, као и разлике тона боје максималних вредности примарних поља, а исто тако

и разлика засићења боје просечних и максималних вредности сивог тона.

Параметри који су највећи показатељи квалитетне репродукције боја на отиску су: средња вредност разлике обојења свих поља на контролној мерној траци (*All patches - Avg*), која у просеку износи 1,3 (толеранција је до 2,5), и максимална вредност разлике обојења свих поља (*All patches - Max*), која у просеку износи 4,3 (толеранција је до 5,0). Поред ових вредности, и остале вредности разлике обојења, тона и засићења боје су у границама референтних вредности.

Спектрофотометријским мерењем контролне мерне траке на x-rite iliO роботском систему, као и верификацијом резултата мерења уз помоћ софтвера i1Profiler, долазимо до најпоузданије и најефикасније методе у контроли репродукције боја.

Мерењем и валидном верификацијом добија се квалитетан пробни отисак, а такође се може креирати и колорни профил који убудуће може служити као референца за верификацију других одштампаних пробних отиска.

Из свега примењеног, долазимо до закључка да се применом спектрофотометријских уређаја може додатно унапредити процес контроле репродукције боја и достићи висок степен аутоматизације одговарајућом стандардизацијом целокупног процеса.

4. СТАНДАРДИЗАЦИЈА

Стандардизација у процесу графичке припреме за штампу, као и целокупној штампарској индустрији, ослања се на постизање тачних резултата штампе помоћу решења које нуде разноврсне компаније. Једна од најпознатијих је GMG компанија.

GMG софтверска решења могу да пруже поуздане резултате штампе и конзистентност боја, било да се ради о амбалажи или комерцијалној штампи. Као водећа софтверска решења можемо издвојити GMG ColorProof, GMG OpenColor и GMG OpenServer [10].

Из оваквог процеса стандардизације, применом одговарајућих софтверских решења, долазимо до могућности да процес унапређења квалитета израде картонске амбалаже за течну храну употпунимо решењем које се назива колорна карта.

Колорна карта представља палету боја на основу којих можемо вршити контролу квалитета репродукције боја. Колорна карта може бити сертификована од стране компанија попут Pantone, GMG и др, а може бити израђена и у фирми у којој се врши припрема за штампу и сама штампа.

Колорна карта се може креирати и прилагодити у зависности од потреба. Најбитније је објединити све процесне боје (СМЈК), као и њихове комбинације. Креирају се поља димензија 8 x 8 mm, са размаком од 1 mm. На првој страни се налазе процесне боје од 2 до 100% обојења, са степеновањем од 5%. На следећим странама се налазе комбинације двеју процесних боја од 2 до 100% обојења, и то цијана и магенте, цијана и жуте, цијана и црне, магенте и жуте, магенте и црне, жуте и црне. Даље могу бити креиране и специфичне комбинације са три процесне боје, по потреби.

5. ЗАКЉУЧАК

Развој технологија у последњој деценији у области израде картонске амбалаже за течну храну, допринело је да се постављају све виши циљеви по питању унапређења квалитета репродукције боја. Произвођача хране, као и крајњих потрошача, све је више, и тржиште неуморно диктира темпо израде графичке амбалаже.

Циљ овог процеса је добити крајњи производ, у овом случају дизајн производа, квалитетно урађен у што краћем временском року. Под квалитетом се подразумева да дизајн и комплетна припрема за штампу мора да задовољи целокупну спецификацију штампе, да колорно мора бити прилагођена захтеву купца (произвођача хране), да буде прослеђена у процес штампе без иједне грешке, како би на крају завршни графички производ, тј. картонска амбалажа, била спремна за пуњење и паковање хране, као и дистрибуцију до маркета и крајњих потрошача.

Значај боје, као најбитнијег елемента дизајна амбалаже, веома је велики у њеној изради и репродукцији. У процесу припреме за штампу, а и саме штампе, посвећује се велика пажња контроли параметра репродукције боја. Коректно репродукована боја производа у реалној примени није у потпуности могућа. Унапређењем квалитета процеса израде картонске амбалаже за течну храну, као и саме контроле, проблеми у репродукцији боја смањују се на најмању могућу меру.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Saveti (2021) Šta su PE folije i gde se sve koriste?, [Online] Доступно на: <https://www.saveti.rs/sta-su-pe-folije-i-gde-se-sve-koriste/>, [Приступљено 19.10.2021.].

[2] Normlicht (2021) colorFrame, [Online] Доступно на: <https://www.just-normlicht.com/en/articlelist.html?id=38&name=colorFrame>, [Приступљено 01.09.2021.].

[3] Epson (2021a) Premium Semimatte Photo Paper Roll, [Online] Доступно на: <https://www.epson.eu/products/consumables/paper/premium-semimatte-photo-paper-roll-16-x-305-m-260gm-c13s042149>, [Приступљено 21.10.2021.].

[4] Xrite (2021a) eXact Advanced, [Online] Доступно на: <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact-advanced>, [Приступљено 26.08.2021.].

[5] Esko (2021) PackEdge - User & Reference Manual, [Online] Доступно на: <https://docs.esko.com/docs/en-us/packedge/14/userguide/pdf/PackEdge.pdf>, [Приступљено 25.08.2021.].

[6] Igepa (2021) Metal print, [Online] Доступно на: <https://igepa.hr/media/28593/metalprint.pdf>, [Приступљено 22.10.2021.].

[7] Xrite (2021b) i1iO for i1Pro 3 & i1Pro 3 Plus, [Online] Доступно на:

<https://www.xrite.com/categories/calibration-profiling/i1io-for-i1pro-3-plus>, [Приступљено 30.08.2021.].

[8] Xrite (2021c) i1Profiler, [Online] Доступно на: <https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/i1profiler>, [Приступљено 05.10.2021.].

[9] Epson (2021b), [Online] Доступно на: <https://www.epson.rs/products/printers/large-format-printers/surecolor-sc-s80610>, [Приступљено 30.08.2021.].

[10] GMG (2021) GMG ColorProof Products, [Online] Доступно на: <https://www.gmgcolor.com/products>, [Приступљено 01.09.2021.].

Адреса аутора за контакт:

МСц Иван Радисављевић
xdesign.ica@gmail.com

Доц. др Стефан Ђурђевић
djurdjevic@uns.ac.rs

Проф. др Драгољуб Новаковић
novakd@uns.ac.rs

Графичко инжењерство и дизајн,
Факултет техничких наука,
Нови Сад

KREIRANJE HYPER-CASUAL IGRE ZA ANDROID UREĐAJE U UNITY RAZVOJNOM OKRUŽENJU**CREATING HYPER-CASUAL GAME FOR ANDROID DEVICES IN UNITY ENGINE**

Aleksandra Živkov, Neda Milić Keresteš, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – Predmet rada jeste istraživanje specifičnosti mobilnih igara hyper-casual žanra, kao i mogućnosti korišćenja ovih igara za podizanje svesti o važnim temama ili u edukativne svrhe. Pored odlika hyper-casual igara, istraženi su i softverski alati koji su potrebni za njihovu produkciju. Kao rezultat istraživanja, prikazan je tok izrade jedne mobilne hyper-casual igre edukativnog karaktera koja pruža informacije o tome kako pravilno reciklirati otpad igre, od modelovanja protrebnih elemenata u eksternim 3D softverskim alatima, zatim pravljenja scene i ubacivanja karaktera u Unity razvojnom okruženju, do prilagođavanja igre Android uređajima.

Ključne reči: mobilne igre, hyper-casual žanr, edukativne igre

Abstract – The subject of the work is research into the specifics of mobile games of the hyper-casual genre and the possibility of using these games to raise awareness of important topics or for educational purposes. In addition to the features of hyper-casual games, the software tools required for their production were also investigated. As a result of the research, the process of creating a mobile hyper-casual game of an educational character about how to recycle game waste properly is presented - from modeling the necessary elements in the external 3D software tools, creating levels, and inserting characters in the Unity Engine, to customizing the game for Android devices.

Keywords: mobile games, hyper-casual genre, educational games

1. UVOD

Od nastanka civilizacije ljudi su kreirali i igrali igre kako bi zabavili sebe i druge ili kako bi prekratili vreme i dosadu. Igra danas više ne podrazumeva isključivo grupnu aktivnost i korišćenje fizičkih predmeta kao što su kocke, karte, lopte i drugi rekviziti, već dominiraju igre na električnim uređajima koje korisnik može i sam igrati. Razvojem tehnologija, nakon igara za konzole i računare, razvile su se igre za mobilne uređaje. Pojavom igara za mobilne telefone i tablete, igrač više nije vezan za prostor i robusnu opremu - sada može igrati igre bilo gde i u bilo kom trenutku [1]. Upravo zbog toga su stekle ogromnu popularnost i predstavljaju sastavni deo modernog života.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Neda Milić Keresteš, docent.

2. HYPER-CASUAL IGRE ZA MOBILNE UREĐAJE

Prvom hyper-casual igrom se smatra mobilna igra *Flappy Bird* koja je izdata 2014. godine. Na vrhuncu popularnosti igra je proizvodila 50.000 dolara dnevno od oglašavanja u aplikaciji. Drugi programeri i izdavači shvatili su ogroman marketinški potencijal ovih igara, jednostavnih kako za igru tako i produkciju i tako je pokrenuta industrija hyper-casual igara [2].

Poslednjih nekoliko godina svet je postao preplavljen hyper-casual igrima. Žanr se naglo razvio nakon uspeha prve takve igre *Flappy Bird* i brzo je zauzeo većinu pozicija top-listi najčešće preuzetih igara na *Google Play* i *App Store* servisima. Iako je žanr postajao sve popularniji, spekulisalo se da je ovaj žanr prolaznog perioda, odnosno da su igre previše jednostavne da bi zadržale interesovanje igrača. Međutim, zahvaljujući inovativnosti kreatora ovih igara, hyper-casual žanr se pokazao izdržljivim i definitivno je tu da se zadrži [2].

Igre Hyper-casual žanra uglavnom zauzimaju malo prostora u memoriji telefona, mehanika im je jednostavna i grafički su skromne, bez preteranih detalja koji odvlače pažnju sa igre, što čini njihov produkcijski ciklus prilično kratkim i jednostavnim u poređenju sa igrima drugih žanrova. Sa aspekta igrivosti, ovaj tip igara je napravljen tako da budu zabavne najširem krugu korisnika - od dece do starih ljudi, a omogućavaju da se iznova i iznova igraju nivoi igre uz veliki stepen zabave.

Sve hyper-casual igre imaju sledeće karakteristike [3]:

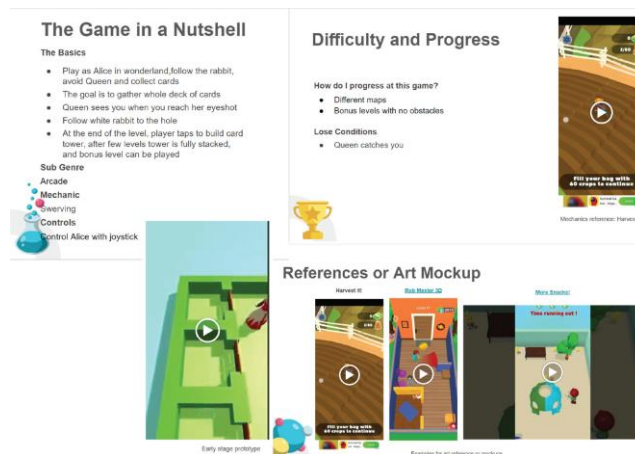
- **Jednostavnost** - Sve u vezi sa hyper-casual igrima je jednostavno. Od samog pokretanja igre, one moraju biti dovoljno jednostavne da nije potrebno nikakvo uputstvo ili objašnjenje za početak igranja, već samo da se instalira i klikne „play“ dugme.
- **Minimalizam** - UI (*User Interface*), odnosno korisnički interfejs igre je minimalan, kako grafički tako i kvantitativno. Mnoge hyper-casual igre imaju samo jedno dugme ili „kontroler“. Mehanika koja stoji iza hyper-casual igara je takođe vrlo jednostavna i jasna.
- **Beskonačna igra** - Hyper-casual igre bi trebalo da mogu da se igraju beskonačno. Kako ponavljanje igre za igrom nakon nekog vremena može postati dosadno, hyper-casual igre obično

sadrže razne dodatke (npr. kupovina i/ili otključavanje novih rekvizita, nivoa, resursa) u cilju da zadrže igrača, odnosno da bi igranje ponovo bilo zanimljivo i zabavno. Iz istog razloga, u *hyper-casual* igri obično postoji i teži nivo igranja.

- **Minimalan napor igrača** - Igrači ne trebaju da poseduju bilo kakvo znanje ili umeće da bi igrali ove igre, ne postoji period učenja pravila i igra ne zahteva veliku koncentraciju. *Hyper-casual* igre se mogu igrati u bilo kom trenutku kako bi skratile vreme ili zabavile igrača (u gradskom prevozu, dok čekaju red, dok gledaju televiziju...).
- **Brza produkcija** - Igre se kreiraju veoma brzo – od nekoliko dana u ekstremnim slučajevima do nekoliko meseci. Kratak produkcijski ciklus je bitan jer je konkurencija izuzetno velika, tako da se prve verzije igre (alfa i beta) prave u veoma kratkom periodu, testiraju i, ako je test uspešan, plasiraju i reklamiraju. Ako se igra pokaže uspešnom, dalje se u fazi održavanja i unapređenja igre uklanjaju greške, dodaju opcije i igra se poboljšava grafički kako bi bila još privlačnija. Testovi se rade u svim fazama životnog ciklusa igre i, ako se uoči da igra više ne privlači toliku pažnju i opada broj preuzimanja i/ili broj aktivnih korisnika i transakcija, jednostavno se prekida rad na njoj i prelazi se na sledeću igru.
- **Široka publika** - *Hyper-casual* igre namenjene su svima. Napravljene su za masovno tržište, a svojom jednostavnošću privlače igrače svih uzrasta, stepena obrazovanja, statusa zaposlenosti...
- **Stvaranje zavisnosti** - jedva od glavnih odlika ovog žanra je da stvara zavisnost. Nivoi moraju biti tako osmišljeni da igrač sa lakoćom prelazi sa nivoa na nivo, dobija konstante nagrade, bedževe i pohvale za pređen nivo i ostvaren rezultat i ne želi da prestane da igra igru.

Prvi korak u kreiranju igre je razvijanje ideja i istraživanje tržišta. S obzirom da je broj *hyper-casual* igara ogroman, da bi igra bila uspešna mora biti inovativna i drugačija od prethodnih. U samom početku je najvažnije prepoznati aktuelne trendove na društvenim mrežama i generalno u svetu igara i pronaći temu igre. Zatim treba proveriti da li igre te tematike već postoje, a, ako postoje, koliko su uspešne, koju mehaniku koriste i šta se može izmeniti u postojećim igrama kako bi bile još jednostavnije i privlačnije. Sve ove informacije pišu se u dokumentu predstavljanja igre - *Game pitch* (Slika 1).

U dokumentu predstavljanja igre nalaze se sve informacije potrebne investitoru igre: kratak opis igre (svega nekoliko rečenica o radnji igre, ako se igra ne može opisati u nekoliko rečenica znači da je verovatno previše komplikovana za *hyper-casual* žanr i mora se pojednostaviti), mehanika igre, podžanrovi (*runner*, *puzzle*, *simulation*...), crteži i skice kako bi igra izgledala, kao i reference već postojećih igara na osnovu kojih će se praviti igra (vizuelne reference, mehanika...). Ako postoji urađen prototip igre, ubacuju se i snimci ekrana.



Slika 1. Dokument predstavljanja *hyper-casual* igre (*Game pitch*)

3. SOFTVERSKI ALATI ZA KREIRANJE HYPER-CASUAL IGRE

3.1. Razvojno okruženje za igre

Unity Engine je softver koji se koristi za kreiranje kompjuterskih igara, simulacija i interaktivnih prezentacija. Odlikuju ga jednostavan i intuitivan interfejs, zatim ugrađena podrška i mogućnost optimizacije igre za veliki broj platformi (*Hololens*, *Android*, *iOS*, *Mac*, *Playstation*, *Xbox* ...), mogućnost kreiranja i 2D i 3D projekata, kao i veliki broj gotovih dodataka i resursa. Dodatna prednost rada u softveru predstavlja mogućnost uvoženja različitih formata 2D i 3D grafike, datoteka animacija i zvuka iz drugih programa. Većina današnjih mobilnih igara, kao i AR i VR aplikacija su urađene upravo u ovom softveru [4].

3.2. Softverski alati za kreiranje 3D elemenata

Blender je besplatni softver za 3D modelovanje otvorenog koda koji zauzima znatno manje prostora na računaru u poređenju sa drugim programima za 3D modelovanje. Pored modelovanja, u softveru se može i dodati skelet karaktera (*rigovanje*), mogu se ubaciti materijali, modeli se mogu i ručno bojiti kako bi se dobile teksture, a na kraju se gotov model može i animirati. *Blender* nudi i opciju vajanja modela (*sculpting*) kako bi se napravili realistični unikatni modeli. Kompletan model sa materijalima, animacijama, svetlom, kamerom i ostalim elementima se može zajedno sačuvati kao *.blend* fajl koji *Unity* prepoznaje i podržava. Takođe, radni modeli se iz *Blender* softvera mogu izvesti i kao *.fbx*, *.obj* i drugi formati. Pored alata *Blender*, za kreiranje 3D resursa igre se koriste i softveri *3Ds Max*, *Z-Brush* i slični.

3.3. Softverski alati za kreiranje 2D elemenata

Adobe Illustrator je softver čija je primarna uloga kreiranje i uređivanje vektorske grafike, ali pruža i mogućnost kombinovanja vektora sa rasterskim elementima.

U produkciji mobilnih igara *Illustrator* se prvenstveno koristi za kreiranje UI elemenata igre: dugmića, teksta, brojača, vremenskih linija, linija progres, ikonice...

Zbog različitih veličina ekrana telefona, UI elementi moraju responzivno menjati veličinu u odnosu na ekran na kome se igra prikazuje, zbog čega je odgovarajuće pripremati ih u vektorskom formatu kako ne bi došlo do narušavanja kvaliteta grafike prilikom skaliranja. *Unity* prepoznaje i uvozi vektorske crteže u .svg formatu.

Adobe Photoshop je softver za kreiranje i uređivanje rasterske grafike. U razvoju mobilnih igara, *Photoshop* je veoma koristan softver od početka do kraja razvoja projekta. Prvo se koristi kao alat za prve skice ideja za igru, skice resursa igre, karaktera, UI elemenata, rasporeda modela po nivou. Kada je igra pri kraju, u *Photoshop* softveru se izrađuje ikonica igre na osnovu rendera 3D modela. Ako se igra objavljuje na *Google Play* ili *App Store* servisu, pored ikonice igre, potrebno je napraviti i logotip, banere, slike ekrana igre za čega je, takođe, *Photoshop* adekvatan izbor.

4. PRAKTIČNI DEO

Cilj praktičnog dela rada jeste demonstracija produkcijskog ciklusa *hyper-casual* igre uz usvajanje svih odlika takvih igara na primeru konkretne igre koja je ujedno i edukativnog karaktera i podiže svest o važnosti reciklaže, odnosno cilj je predstaviti kreiranje igre koja će biti zabavna, a u isto vreme omogućiti igračima da saznaju nešto novo o reciklaži.

Problem zagađivanja životne sredine otpadom se najčešće viđa po delovima grada gde ne postoje kante za otpad, a naročito ne kante obeležene za specifičnu vrstu otpada koji bi se kasnije reciklirao. Ideja predložene *hyper-casual* igre *Recycle Run* je da predstavi sredinu koju svaki igrač može da prepozna kao nešto iz svog okruženja - pešačke staze, parkovi, kolovozi na kojima pronalazi smeće i da učini nešto dobro za okolinu tako što će ne samo pokupiti otpad, već ga i reciklirati. Igrač igra karaktera koji šeta po ulici, sakuplja otpad koji nalazi izbegavajući automobile, a na kraju taj otpad i reciklira i dobija novac ako to dobro uradi. Za prikupljeni novac može da kupuje dodatne stvari za igru, na primer još jednu kantu za reciklažu za još jednu vrstu otpada.

4.1. Postavljanje nivoa

Postoje dva načina na koji se mogu ubaciti 3D modeli u *Unity* projekat. Prvi je ubacivanje modela koji se nalaze kao odvojeni fajlovi na računaru (modelovani u nekom od programa za 3D modelovanje ili kupljeni modeli) i oni se najjednostavnije mogu prevući u *Asset* folder, a zatim na scenu. Drugi način je preuzimanje modela sa *Unity Asset Store* servisa. *Unity Asset Store* je online prodavnica svega što se može ubaciti u *Unity* projekat - 3D modela, 2D grafike, specijalnih efekata... i veoma je korisna razvojnim timovima koji se ne bave kreiranjem 3D i 2D resursa igre.

Kada su ubačeni svi potrebni modeli, može se početi sa sklapanjem nivoa. U slučaju objekta igre koji će se ponavljati na sceni i sa kojima karakter ima interakciju, potrebno je od objekta kreirati prefabrikovani šablon - *prefab*, a zatim mu dodati sve potrebne komponente kao

što su kolajderi i animacije pre instanciranja njegovih kopija na sceni. Sceni se mogu dodati i objekti koji će biti u pozadini. Ovi objekti ne moraju imati kolajdere jer nemaju interakciju sa karakterom. Prikaz postavljene scene nalazi se na Slici 2.



Slika 2. Prikaz postavljene scene u *Unity* projektu

4.2. Podešavanje karaktera

Kada je scena postavljena, ubacuju se karakteri u igru. Modeli karaktera koji se koriste u *hyper-casual* igrama su obično humanoidni likovi bez mnogo detalja, poput likova iz crtanih filmova. Nekad se čak koriste i „čiča gliše” (*stickman*) koji su imaju ruke, noge, telo i glavu napravljene od osnovnih figura, bez ikakvih tekstura i samo u jednoj boji.

U predloženoj igri ipak postoji neki stepen realizma kada se posmatra kreirani svet igre, odnosno scena tako da je odabran model koji je po nivou detaljnosti između *stickman* i realnog lika.

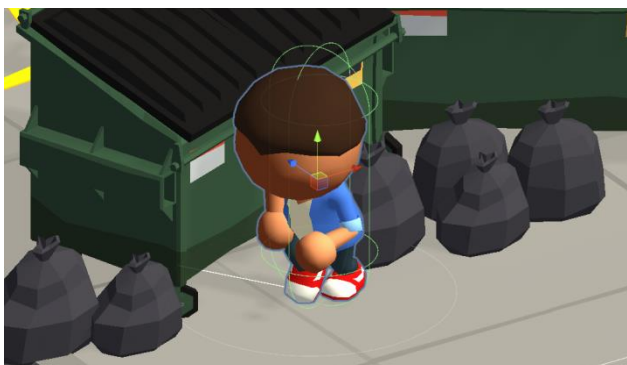
Pre nego što se karakter ubaci u *Unity* projekat, prvo se u eksternom alatu kreira skelet karaktera (*rigovanje*) i pripreme njegove animacije (hodanje, *idle* ili stojeća animacija, animaciju pada kada naleti na prepreku itd.). Ovi koraci se mogu uraditi u nekom od programa za 3D modelovanje kao što je *Blender*. Međutim, za potrebe jednostavnih humanoidnih karaktera u produkciji *hyper-casual* igara sve češće se koristi softver *Adobe Mixamo* koji pruža mogućnosti automatskog rigovanja i kreiranja animacija. Ovo predstavlja veliku olakšicu razvojnim timovima igara koji nemaju članove tima specijalizovane za rad sa 3D modelima.

Za automatsko rigovanje potrebno je ubaciti 3D model i obeležiti ključne tačke na telu: zglobove, laktove, bradu, kolena i karlicu. Zatim se izabere tražena animacija. Prva animacija je uobičajeno *idle* animacija koja se preuzima zajedno sa modelom (*with skin*) i tako ubacuje u projekat. Kasnije kreirane animacije kao što su hodanje i padanje mogu se preuzeti bez 3D modela (*without skin*) i u *Unity* projektu se povezati sa istim karakterom [5].

Kada se model ubaci u *Unity* i kada mu se odgovarajući materijal, sledeći korak je dodavanje objektu karaktera svih komponenti koje su potrebne da može da se kreće, da reaguje na prepreke, da sakuplja potrebne objekte, menja animacije...

Karakteru u predloženoj igri se prvo dodaje kolajder koji će približno pratiti obrise tela. U nekim igrama je potrebno staviti više kolajdera, na primer na svaki ud ako je bitno koji deo tela će učestvovati u interakciji sa drugim objektima. Zatim se dodaje *Rigidbody* jer će se

karakter kretati korišćenjem fizike. Dodaje mu se još i *Animator* komponenta kako bi se mogle koristiti animacije i praviti tranzicije između njih (npr. iz hodanja u padanje) i na kraju se ubacuje skripta za kretanjem, odnosno primenu fizike. Na Slici 3. prikazan je karakter na sceni sa potrebnim komponentama.



Slika 3. Podešavanje karaktera na sceni

4.3. Kreiranje UI elemenata

Sledeći korak u pravljenju predložene igre je kreiranje UI elemenata. Obavezno je napraviti HUD meni (*Head-Up Display*) u kojem će biti prikazani brojači života i prikupljenih objekata, a kreiraju se i ekrani koji će se pojaviti kada se pređe nivo i izgubi nivo, kao i ekran na kojem se mogu kupiti novi objekti. Pre nego što se krenu postavljati elementi interfejsa na ekran, odnosno *UI canvas*, potrebno je u komponenti *Canvas Scaler* odabrati opciju *Scale With Screen Size* kako bi UI elementi bili rezpozivni u zavisnosti od veličine ekrana telefona.

4.4. Build igre

Nakon programiranja skripti i implementiranja mehanike, završi korak predstavlja kreiranje konačnog formata igre (*build*) za *Android* platformu i u tom postupku se podešava i naziv i ikonica igre, kao i informacije o autoru. Dobijeni .apk fajl potrebno je prebaciti na mobilni telefon ako igra još uvek nije postavljena na *online* servise. Prilikom instalacije, potrebno je u podešavanjima mobilnog telefona dozvoliti instaliranje aplikacije nepoznatog izvora.

5. ISTRAŽIVANJE UTICAJA IGRE

Nakon kreiranja izvršne verzije igre *Recycle Run*, istražen je uticaj predložene igre na svest o reciklaži i očuvanju prirode anketiranjem igrača pre i nakon igranja igre. U anketi je učestvovalo 83 ispitanika. Veći procenat ispitanika je bio ženskog pola (67.5%), a najčešća starost ispitanika je bila 24 i 25 godina i većina su bili studenti (48.2%).

Među odgovorima ispitanika na pitanje kakve igre najčešće igraju na telefonu veliki broj navedenih igara pripada upravo *hyper-casual* žanru (*Temple Run*, *Subway Surfer*...) što govori u prilog njihovoj popularnosti i opravdanosti odluke da se pomoću igara ovog žanra može se dopreti do najvećeg broja ljudi i time efikasno širiti znanje i svest o društvenim i ekološkim temama.

Na pitanje o tome da li ispitanici smatraju da igre na mobilnom telefonu mogu biti edukativnog karaktera, većina ispitanika nije imala previše iskustva sa takvim mobilnim igrama, ali su pokazali zainteresovanost za edukativni sadržaj predstavljen kroz igru.

Većina ispitanika pre igranja predložene igre takođe nije bila upoznata značenjem boja kojima se kodiraju kontejneri za reciklažu, a gotovo nijedan ispitanik nije znao tačno da poveže sve boje sa kategorijama otpada. Nakon igranja igre, broj tačnih odgovora na pitanje šta predstavljaju žuta, zelena i crvena boja na reciklažnim kontejnerima se drastično povećao.

Rezultati ankete ukazuju da mobilne igre mogu pomoći širenje svesti o očuvanju životne sredine i mogućnostima recikliranja. Ako bi postojalo više igara ove tematike *hyper-casual* žanra, velika je verovatnoća i da bi značajno veći udeo populacije obraćao pažnju na đubre po ulicama i važnost recikliranja i u stvarnom životu.

6. ZAKLJUČAK

Industrija mobilnih igara strmoglavno raste. Preplavljenost informacijama na mobilnim telefonima sve više i više utiče na pažnju korisnika te su zabavni sadržaji sve kraći i jednostavniji. Ovom trendu se prilagođavaju i izdavači *hyper-casual* igara tako što prave sve jednostavnije igre za koje nije potrebna koncentracija i učenje.

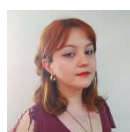
Popularnost *hyper-casual* igara se može iskoristiti u i edukativne svrhe. Takva igra pored edukativne uloge mora ostati i dovoljno zabavna kako bi igračima držala pažnju dovoljno da usvoje njenu poruku.

Igra *Recycle Run* je osmišljena tako da podiže svest o značaju reciklaže i čišćenja ulica na zabavan način. Sakupljanjem đubreta sa ulice i raspoređivanjem po kantama za reciklažu igrač uči kako da pravilno rasporedi otpad i pritom je za to nagrađen kupovinom novih objekata (kanti) i otključavanjem novih nivoa gde će utvrditi usvojena znanja.

7. LITERATURA

- [1] D. Y. Jin, „Mobile Gaming in Asia: Politics, Culture and Emerging Technologies“, *The Evolution of Mobile Games*, pp. 6-7, 2017.
- [2] <https://www.applovin.com/blog/evolution-of-hyper-casual-games/> (pristupljeno u maju 2022.)
- [3] <https://www.blog.udonis.co/mobile-marketing/hyper-casual-game> (pristupljeno u maju 2022.)
- [4] J. Hocking, „Unity in Action: Multiplatform game development in C#“, *Getting to know Unity*, pp. 3-5, 2022.
- [5] S. Blackman, „Unity for Absolute Beginners“, *Rigging Character with Mixamo*, pp. 566-570, 2014.

Kratka biografija:



Aleksandra Živkov rođena je u Zrenjaninu 1997. godine. Završni rad na osnovnim akademskim na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Osnove kompjuterskih igara odbranila je 2020.god.
kontakt: az.zivkov@gmail.com

UTICAJ PERSONALIZACIJE APLIKACIJE NA KORISNIČKO ISKUSTVO**THE IMPACT OF APPLICATION PERSONALIZATION ON THE USER EXPERIENCE**

Una Novaković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – U okviru rada biće pojašnjen pojam personalizacije korisničkog iskustva, način implementacije i aktuelni trendovi. Rad obuhvata uputstva i aspekte koje je potrebno zadovoljiti prilikom kreiranja elemenata personalizacije. Praktični deo obuhvata izradu prototipa u kome su implementirani različiti oblici personalizacije i testiranje UX dizajna upotrebom A/B testa i ankete sa ciljem otkrivanja uticaja različitih vidova personalizacije na poboljšanje korisničkog iskustva.

Ključne reči: korisničko iskustvo, korisničko okruženje, personalizacija, podešavanje, prototip, UX testiranje

Abstract – The paper will explain the concept of personalization of user experience, methods of implementation, and current trends. The paper includes instructions and aspects that need to be met when creating personalization. The practical part includes the development of a prototype in which different forms of personalization are implemented and testing UX design using A/B test and survey to discover the impact of different types of personalization on improving the user experience.

Keywords: user experience, user interface, personalization, customization, prototype, UX testing

1. UVOD

Personalizacija aplikacija se može definisati kao prilagođavanje usluga ili proizvoda određenim pojedincima. Veliki broj organizacija koristi personalizaciju za poboljšanje zadovoljstva kupaca, marketinške rezultate, brendiranje. Poslednjih godina ovakav način pristupa u kreiranju aplikacija je postao veoma zastupljen.

Korisnici dobijaju slobodu kreiranja sopstvenog prostora unutar aplikacije kako bi im korisničko iskustvo bilo što povoljnije. Takođe, personalizacija sadržaja koji se pruža korisnicima na osnovu njihovih interesovanja olakšava korišćenje aplikacije.

Svi ovi aspekti doprinose zadovoljstvu korisnika što dovodi do trajnosti aplikacije. Međutim, personalizacija se mora pažljivo koristiti kako bi izazvala pozitivan efekat.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Neda Milić Keresteš, docent.

2. KORISNIČKO ISKUSTVO

Korisničko iskustvo (engl. User Experience, UX) je način na koji korisnici stupaju u interakciju sa aplikacijom, odnosno određuje koliko je laka ili teška interakcija sa elementima korisničkog okruženja koji su kreirali dizajneri [1].

Testiranjem korisničkog iskustva se proverava koliko je lako i intuitivno ili pak zbunjujuće za korisnika da ispuni željene zadatke. Takođe se posmatraju i sprovode analize zadataka kako bi se uočili obrasci kako korisnici zaista izvršavaju zadatke u toku korišćenja određene aplikacije u odnosu na inicijalnu zamisao dizajnera [1].

Kada se testiranje završi, UX dizajneri analiziraju podatke i pozivaju se na njih prilikom donošenja odluke o redizajnu digitalnog proizvoda.

3. KORISNIČKO OKRUŽENJE

Korisničko okruženje (engl. User Interface, UI) je grafički izgled aplikacije. Dizajneri korisničkog okruženja stvaraju izgled i osećaj korisničkog okruženja aplikacije. Na njima je da se pobrinu da okruženje aplikacije bude privlačno, vizuelno stimulativno i da izgled odgovara vrsti i ulozi aplikacije [1].

Korisničko okruženje uključuje dugmiće (engl. Buttons) na koji korisnici kliknu, tekst koji korisnici čitaju, slike, klizače, polja za unos teksta i sve ostale stavke sa kojima korisnik komunicira i ima interakciju.

Takođe, u korisničko okruženje spadaju tranzicije između ekrana, animacije elemenata i svaka pojedinačna mikro-interakcija.

4. KAKO KORISNIČKO ISKUSTVO I OKRUŽENJE FUNKCIONIŠU ZAJEDNO

Korisničko iskustvo i korisničko okruženje su komplementarni aspekti razvoja digitalnog proizvoda i jednako presudni za uspeh digitalnog proizvoda [1].

Uspeh aplikacije sa odličnom arhitekturom informacija i intuitivnom za korišćenje može narušiti loš dizajn korisničkog interfejsa kada korisnici preuzmu aplikaciju i otkriju da je tekst na svakom ekranu jedva čitljiv ili da su dugmići preblizu i da iz tog razloga često greškom kliknu na pogrešno dugme.

Sa druge strane, veoma je lako sresti se sa veb stranicama koje estetski atraktivno izgledaju, imaju zanimljive animacije, ali su komplikovane za korišćenje. Dobar dizajn korisničkog okruženja nikada ne može da nadoknadi loše korisničko iskustvo.

5. PERSONALIZACIJA

Kada je u pitanju poboljšanje korisničkog iskustva personalizacija igra ključnu ulogu. Korisnici danas traže veću fleksibilnost dok koriste digitalne proizvode i usluge i njihovi zahtevi dinamično rastu uporedo sa tim. Korisnici sve više očekuju proizvode po svojoj meri i odbacuju proizvode koji nemaju tu mogućnost ako se pojavi fleksibilnija konkurentna aplikacija. Iz tog razloga, neophodno je uključiti personalizaciju prilikom dizajna korisničkog iskustva [3].

Postoje dva pojma koja karakterišu UI/UX dizajn “po meri korisnika”: prilagođeni (engl. Customization) i personalizovani (engl. Personalization) dizajn. Razlika između ova dva pojma je u metodi postizanja cilja.

Prilagođeni dizajn je implementacija elemenata personalizacije koju vrši korisnik - kada se korisnicima pružaju mogućnost da promene i prilagode sebi izgled korisničkog okruženja, sadržaj ili funkcionalnost [3]. Česti primeri takve personalizacije su mogućnost promene jezika, slike profila, veličine teksta. Primer prilagođavanja sadržaja je čest kod platformi za objavu vesti i blogova gde se čitaocima nudi mogućnost izbora priča i sadržaja na osnovu prethodno pročitanog teksta.

Automatska personalizacija podrazumeva da aplikacija prilagodi korisničko iskustvo korisniku bez njegovog direktnog učestvovanja u realnom vremenu [3].

Postoje dva vida automatske personalizacije. Prvi se naziva personalizacija zasnovana na ulogama (engl. Rolled - based personalization), gde su korisnici grupisani prema određenim karakteristikama koje su dobro definisane i unapred poznate. Druga vrsta automatske personalizacije se naziva individualizovana personalizacija (engl. Individualized personalization), ovde aplikacija stvara model svakog pojedinačnog korisnika i predstavlja različite sadržaje svakoj osobi [4].

Personalizacija se poistovećuje sa boljim korisničkim iskustvom. Razlog tome leži u činjenici da korisnici vole da ih neko razume i da im omogući da svoja interesovanja i vrednosti implementiraju u proizvodima koji odluču da koriste. Kontrola korisničkog okruženja i sadržaja u aplikaciji doprinosi da korisnici budu više emocionalno angažovani prilikom korišćenja aplikacije i da je na neki način shvataju kao produžetak sopstvenog brenda [5]. Isto tako, mogućnost filtriranja neželjenog ili neprivlačnog sadržaja povećava drastično korisničko zadovoljstvo i time povećava šanse za uspeh aplikacije [6].

Postoje neka pravila koje je bitno slediti prilikom dizajna funkcija prilagođavanja [4]

- Treba pokazati korisnicima da je prilagođavanje dostupno; Nije dovoljno samo ponuditi prilagođavanje korisnicima ako korisnici ne znaju za funkciju ili je ne mogu pronaći.
- Treba učiniti prilagođavanje laganim za korišćenje;
- Potrebno je razmotriti slojevitost funkcija prilagođavanja; Dobar način da se smanji složenost prilagođavanja je korišćenje progresivnog otkrivanja, gde se korisnicima pokazuje samo najkorisnije ili najčešće korišćene opcije prilagođavanja na početku. Sekundarne opcije se odlažu na ekran “naprednih opcija”.

• Prilagođavanje se radi sa razlogom; Funkcije prilagođavanja moraju pružiti jasan uvid u korist koju donose.

• Ne treba se preterano oslanjati na prilagođavanje; Korisnici se često neće truditi da prilagode sajt, čak iako su funkcije za izmenu postavki aplikacije jasne i jednostavne za korišćenje.

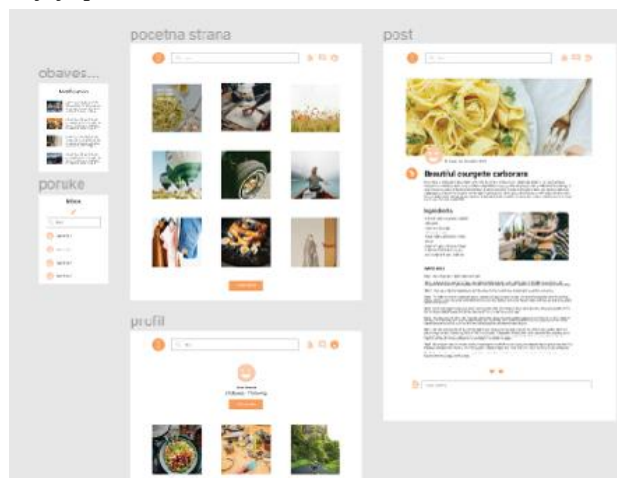
• Diskretno podsticanje prilagođavanja. Potrebno je prvobitno omogućiti korisnicima da uživaju u sadržaju i funkcionalnosti proizvoda, a potom ih zamoliti da prilagode prostor sebi kako bi im bilo još prijatnije.

• Potrebno je dozvoliti korisnicima da menjaju izbore.

6. PLAN EKSPERIMENTA

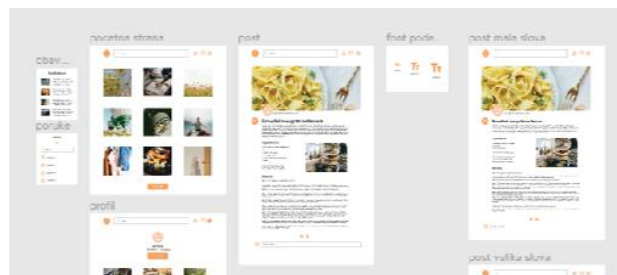
Za eksperimentalni deo ovog rada biće kreiran prototip za digitalnu aplikaciju koji će imati tri različite funkcije personalizacije koje korisnik može da odabere kako bi prilagodio korisničko okruženje. Prva opcija će biti promena veličine fonta, druga opcija promena teme i treća je odabir avatara.

U prvom delu testiranja će se izvršiti A/B test gde će korisnici između tri para prototipa birati bolju verziju po njihovim preferencijama. A/B test je jedan od metoda testiranja UI/UX dizajna sa kojim se jednostavnim izborom između dve verzije proizvoda/usluge ispituje koju opciju korisnici doživljavaju kao bolju. Verzije se prikazuju odvojeno korisnicima i na osnovu rezultata se donosi zaključak. Osnovni prototip bez personalizacije koji je prikazan na slici 1.



Slika 1. Prikaz prototipa bez personalizacije

Prvi par je prototip bez personalizacije (opcija A) i prototip sa promenom veličine fonta (opcija B) prikazan na slici 2.



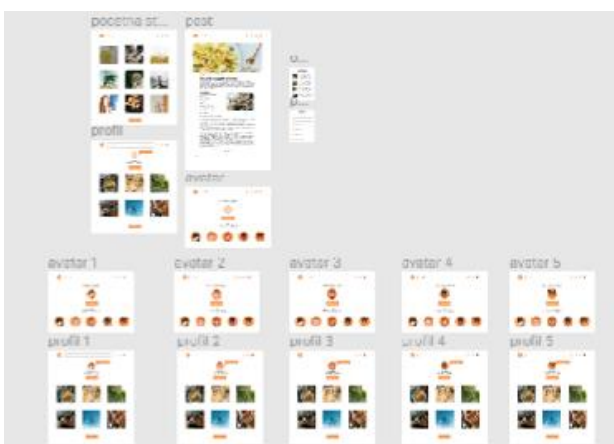
Slika 2. Prikaz prototipa sa opcijom promene veličine fonta

Drugi par je prototip bez personalizacije (opcija A) i prototip sa promenom teme (opcija B) prikazan na slici 3.



Slika 3. Prikaz prototipa sa opcijom promene teme

Treći par sastoji se iz prototipa bez personalizacije (opcija A) i prototipa sa promenom avatara (opcija B) prikazan na slici 4.



Slika 4. Prikaz prototipa sa opcijom promene avatara

Aplikacija na kojoj se vrši testiranje je jedna vrsta društvene mreže, najbližije aplikaciji Pinterest. U suštini, korisnici imaju mogućnost da na početnoj stranici gledaju fotografije drugih korisnika, a klikom na neku od njih otvara se tekstualna stranica u kojoj se nalazi napisan članak na neku temu. Postoji opcija za notifikacije, kao i opcija za dopisivanje sa drugim korisnicima koji koriste aplikaciju. Unutar alatke Figma izvršeno je kompletno kreiranje žičanog modela za svaku od verzija aplikacije, a potom se izvršio i kompletan dizajn interaktivnog prototipa. Prototip su činile 4 verzije aplikacije.

Nakon A/B testa, ispitanici su intervjuisani u cilju dolaženja do detaljnijih uvida u to da li je korisnicima neka od ponuđenih personalizacija bila korisna i da li bi je koristili u datoj aplikaciji, zatim da li je neka od datih personalizacija bila suvišna, da li bi nešto promenili i kakvo je njihovo generalno mišljenje o mogućnostima personalizacije u aplikacijama.

7. REZULTATI I DISKUSIJA

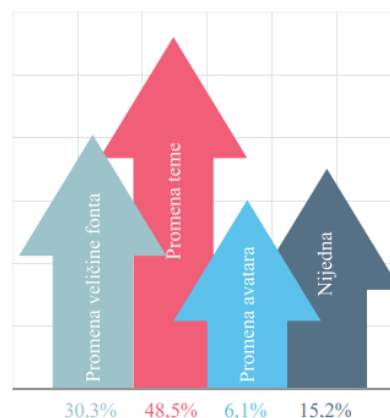
U ispitivanju je učestvovalo 33 ispitanika, od čega je 19 bilo ženskog pola, a 14 muškog pola. Godine ispitanika su između 20 i 50 godina.

Na osnovu rezultata A/B testa može se zaključiti da je većina ispitanika preferirala opcije sa promenom fonta (90.9%), promenom teme (96.9%) i promenom avatara

(90.9%) u odnosu na prototip bez opcija personalizacije. Dominantne preferencije potvrđuju da korisnici doživljavaju mogućnosti personalizacije kao interesantne ili korisne promene dizajna koje ne narušavaju korisničko iskustvo.

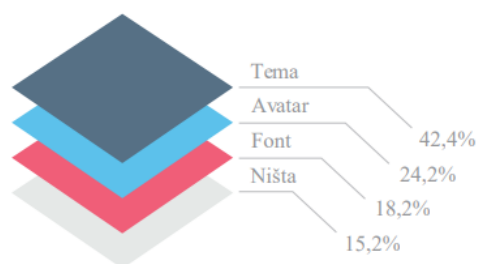
Rezultati ankete pokazuju da korisnici često (39.4%) ili ponekad (45.5%) koriste opcije personalizacije, kao i da 66.7% ispitanika smatra da ona utiče pozitivno na njihovo korisničko iskustvo. Na slikama 5 i 6 nalazi se prikaz rezultata odgovora koju od opcija personalizacije korisnici smatraju najkorisnijom i koju bi najpre koristili u aplikaciji.

Koja od ponuđenih opcija personalizacije tokom ispitivanja Vam je bila NAJKORISNIJA?



Slika 5. Prikaz rezultata odgovora koju od opcija personalizacije ispitanici smatraju najkorisnijom

Koji od opcija personalizacije u testu biste najpre upotreбили prilikom korišćenja aplikacije?

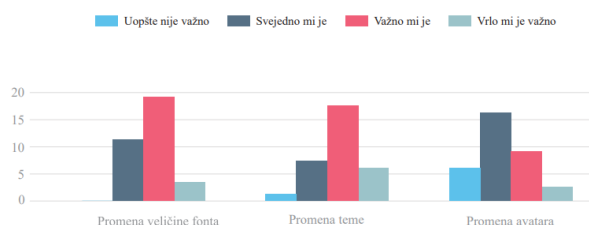


Slika 6. Prikaz rezultata odgovora koju od opcija personalizacije ispitanici najpre koristili

Rezultati ankete su pokazali da su preferencije u A/B testu motivisane različitim razlozima. Opciju podešavanja veličine fonta polaznici su smatrali najkorisnijom opcijom personalizacije, iako bi pre koristili opciju promene teme ili promenu avatara. Sa druge strane, korisnici ocenjuju promenu avatara kao vrlo interesantnu opciju iako su mišljenja da njena upotreba nije toliko važna koliko mogućnost promene teme ili veličine teksta. Opciju promene teme korisnici doživljavaju istovremeno i kao korisnu i kao interesantnu, pa je opravdano i prvi izbor većine korisnika u izboru od ove tri mogućnosti

personalizacije. Ako se podaci grupišu prema polovima ispitanika, može se uočiti da je obrazac preferencije isti. Ovakvi rezultati se mogu povezati sa činjenicom da potrebe korisnika nisu iste i da je veoma teško kreirati aplikaciju koja je po svačijoj meri, ali da opcije personalizacije svakako olakšavaju proces. Pristupačnost proizvoda će se svakako ogledati u što boljoj prilagodljivosti različitim grupama ljudi.

Na slici 7 nalazi se prikaz rezultata pitanja gde su korisnici opcije personalizacije rangirali po važnosti.



Slika 7. Prikaz rezultata rangiranja opcija personalizacija po važnosti

Rezultati pokazuju da pomoću opcija personalizacije korisničko iskustvo može da se poboljša. Između aplikacije bez i sa opcijom personalizacije, ona koja dopušta više slobode korisnicima će svakako pobrati veće simpatije. Korisnici vole osećaj slobode da prilagode određene elemente aplikacije po svom ukusu kako bi im bilo prijatnije i zabavnije. Većina korisnika će vrlo rado koristiti opcije ako im se nude u zavisnosti od trenutnih potreba. Potrebe korisnika se vremenom menjaju tako da je bitno pratiti i osluškivati njihove želje kako bi se moglo osigurati veoma dobro korisničko iskustvo.

Tema istraživanja je bila dokazati da li personalizacije utiče pozitivno na korisničko iskustvo. Na osnovu istraživanja može se zaključiti da je odgovor potvrđan. Korisnici su skloniji da odaberu aplikaciju koja im dopušta određen vid slobode da je prilagode svojim potrebama. Naravno, ovo ne mora da znači da će svaka od opcija prilagođavanja biti korišćena od strane svakog korisnika, ali svakako može da znači da njeno prisustvo neće pogoršati korisničko iskustvo. Osoba koja ima potrebu da iskoristi neku od opcija će to svakako učiniti, dok ona koja nema će se zadržati na osnovnoj verziji aplikacije.

8. ZAKLJUČAK

Personalizacija aplikacija se poslednjih godina sve više koristi. Ovakav vid pristupa dozvoljava korisnicima slobodu da sami odaberu šta će gledati, na koji način će im se prikazivati sadržaj, kao i da imaju uticaj na celokupan izgled korisničkog okruženja.

Personalizacija dozvoljava korisniku da menja određene aspekte aplikacije, dok automatska personalizacija prepoznaje unapred preferencije i potrebe korisnika pa mu na taj način olakšava i obogaćuje iskustvo korišćenja aplikacije.

Personalizacija digitalnih proizvoda ima veliki uticaj na pozitivno korisničko iskustvo i povećava drastično šanse uspeh proizvoda na tržištu.

Danas skoro svaki digitalni proizvod poseduje određen vid personalizacije koja korisnicima omogućava da se oseća ugodnije. Kompanije kao što su Netflix, Google, Instagram, Facebook su dokazale da personalizacija utiče pozitivno na iskustvo korisnika, a njihove metode koje su se pokazale revolucionarnim se sada koriste masovno. Korisnici su se veoma brzo uskladili i privikli na određen stepen slobode prilikom korišćenja aplikacija.

Prema predviđanjima, uticaju personalizacije će se još ozbiljnije pristupati sve će više aspekata proizvoda biti prilagodljivo, a primenom veštačke inteligencije personalizacija sadržaja poprimiće nove dimenzije.

Cilj projekta bio je upoznavanje sa pojmom personalizacije i izrada prototipa aplikacije koja će u sebi imati opcije prilagođavanja. Na osnovu testiranja je zaključeno da je personalizacija pozitivno prihvaćena kod korisnika. Većina ispitanika će koristiti opcije personalizacije ako su mu u tom trenutku potrebne ili će ih samo jednostavno zanemariti, ali retko ko će smatrati da mu one narušavaju dobro korisničko iskustvo. U zavisnosti od trenutnih zahteva korisnika zavisi i upotreba određene personalizacije. Međutim, na osnovu rezultata, dobro primenjena personalizacija ne može da naškodi korisnicima.

9. LITERATURA

- [1] <https://careerfoundry.com/en/blog/ux-design/the-difference-between-ux-and-ui-design-a-laymans-guide/#how-do-ux-design-and-ui-design-work-together> (pristupljeno u oktobru 2021.)
- [2] <https://www.eleken.co/blog-posts/accessibility-in-ux-helpful-for-people-beneficial-for-business> (pristupljeno u decembru 2021.)
- [3] <https://medium.muz.li/everything-you-need-to-know-about-the-personalization-in-ux-design-72497c0f61f> (pristupljeno u oktobru 2021.)
- [4] <https://www.nngroup.com/articles/customization-personalization/> (pristupljeno u oktobru 2021.)
- [5] <https://uxplanet.org/what-is-ui-vs-ux-design-and-the-difference-d9113f6612der> (pristupljeno u oktobru 2021.)
- [6] <https://plat4m.medium.com/7-examples-of-personalization-and-customization-for-better-ux-1d6eb78ab159> (pristupljeno u oktobru 2021.)

Kratka biografija:



Una Novaković rođena je u Somboru 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičko inženjerstvo i dizajn odbranila je 2021.god. kontakt: novakovic.una@gmail.com

U realizaciji Zbornika radova Fakulteta tehničkih nauka u toku 2021. godine učestvovali su sledeći recenzenti:

Aco Antić	Duško Bekut	Maša Bukurov	Radovan Štulić
Aleksandar Erdeljan	Đorđe Ćosić	Matija Stipić	Relja Strezoski
Aleksandar Kovačević	Đorđe Lađinović	Milan Čeliković	Slavica Mitrović
Aleksandar	Đorđe Obradović	Milan Marinković	Slavko Đurić
Kupusinac	Đorđe Vukelić	Milan Mirković	Slobodan Dudić
Aleksandar Ristić	Đula Fabian	Milan Rapajić	Slobodan Krnjetin
Bato Kamberović	Đura Oros	Milan Segedinac	Slobodan Morača
Biljana Njegovan	Đurđica Stojanović	Milan Simeunović	Sonja Ristić
Bogdan Kuzmanović	Filip Kulić	Milan Trifković	Srđan Kolaković
Bojan Batinić	Goran Sladić	Milan Trivunić	Srđan Popov
Bojan Lalić	Goran Švenda	Milan Vidaković	Srđan Vukmirović
Bojan Tepavčević	Gordana	Milena Krklješ	Staniša Dautović
Bojana Beronja	Milosavljević	Milica Kostreš	Stevan Gostojić
Branislav Atlagić	Gordana Ostojić	Milica Miličić	Stevan Milisavljević
Branislav Nerandžić	Igor Budak	Mijodrag Milošević	Stevan Stankovski
Branka Nakomčić	Igor Dejanović	Milovan Lazarević	Strahil Gušavac
Branko Milosavljević	Igor Karlović	Miodrag Hadžistević	Svetlana Bačkalić
Branko Škorić	Igor Peško	Miodrag Zuković	Svetlana Nikoličić
Damir Đaković	Ivan Beker	Mirjana Damnjanović	Tanja Kočetov
Danijela Ćirić	Igor Maraš	Mirjana Malešev	Tatjana Lončar -
Danijela Gračanin	Ivan Mezei	Miroslava Radeka	Turukalo
Danijela Lalić	Ivan Todorović	Mirko Borisov	Uroš Nedeljković
Darko Čapko	Ivana Katić	Miro Govedarica	Valentina Basarić
Darko Marčetić	Ivana Kovačić	Miroslav Hajduković	Velimir Čongradec
Darko Reba	Ivana Maraš	Miroslav Kljajić	Veran Vasić
Dejan Ecet	Ivana Miškeljin	Miroslav Popović	Veselin Perović
Dejan Jerkan	Jasmina Dražić	Miroslav Zarić	Višnja Žugić
Dejan Ubavin	Jelena Atanacković	Mitar Jcanović	Vladimir Katić
Dejana Nedučin	Jeličić	Mitar Đogo	Vladimir Mučenski
Dragan Ivanović	Jelena Borocki	Mladen Kovačević	Vladimir Strezoski
Dragan Jovanović	Jelena Demko Rihter	Mladen Tomić	Vlado Delić
Dragan Ivetić	Jelena Radonić	Mladen Radišić	Vlastimir Radonjanin
Dragan Jovanović	Jelena Slivka	Nebojša Brkljač	Vojin Ilić
Dragan Kukolj	Jelena Spajić	Neda Milić Keresteš	Vuk Bogdanović
Dragan Pejić	Jovan Petrović	Nemanja	Zdravko Tešić
Dragan Šešlija	Lazar Kovačević	Stanisavljević	Zoran Anišić
Dragana Bajić	Leposava Grubić	Nemanja Sremčev	Zoran Brujić
Dragana	Nešić	Nikola Đurić	Zoran Čepić
Konstantinović	Livija Cvetičanin	Nikola Jorgovanović	Zoran Jeličić
Dragana Šarac	Ljiljana Vukajlov	Nikola Radaković	Zoran Mitrović
Dragana Štrbac	Ljiljana Cvetković	Ninoslav Zuber	Zoran Papić
Dragoljub Šević	Ljubica Duđak	Ognjen Lužanin	Željen Trpovski
Dubravka Bojanić	Maja Turk Sekulić	Peđa Atanasković	Željko Jakšić
Dušan Dobromirov	Marinko Maslarić	Petar Malešev	
Dušan Gvozdenac	Marko Marković	Platon Sovilj	
Dušan Kovačević	Marko Todorov	Radivoje Dinulović	
Dušan Uzelac	Marko Vekić	Radomir Kojić	