



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке - зборници

Година: XXXIX

Број: 6/2024

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“

Година: XXXIX

Свеска: 6

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
Проф. 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 шеста 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 25.10.2023. до 30.11.2023. год., а који се промовишу 18.05.2024. 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 три свеске.

У овој свесци, са редним бројем 6, објављени су радови из области:

- машинства,
- електротехнике и рачунарства и
- грађевинарства.

У свесци са редним бројем 7. објављени су радови из области:

- саобраћаја,
- графичког инжењерства и дизајна и
- архитектуре.

У свесци са редним бројем 8. објављени су радови из области:

- инжењерског менаџмента,
- инжењерства заштите на раду и заштите животне средине.
- мехатронике,
- математике у техници,
- геодезије и геоматике
- управљања ризиком од катастрофалних догађаја и пожара и
- биомедицинског инжењерства.

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. Marija Nježić, Borivoj Stepanov, SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE PRIMJENOM REVERZIBILNE TOPLOTNE PUMPE, TOPLOTNOG SKLADIŠTA I ORC CIKLUSA	687-690
2. Славко Матерић, ОДРЕЂИВАЊЕ ЛОКАЛНИХ НАПОНА ПОД ТОЧКОМ У ПОЈАСУ I-НОСАЧА	691-694
3. Branka Večanović, STALNA SREDSTVA ZA BEZBEDAN PRISTUP MAŠINAMA – OSNOVNE SMERNICE ZA PROJEKTOVANJE	695-698
4. Давор Братић, Драган Ружић, ИСТРАЖИВАЊЕ ЕРГОНОМСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗНИХ ИНСТРУМЕНАТА ПУТНИЧКОГ ВОЗИЛА	699-702
5. Данило Брдар, УТИЦАЈ ДЕЗАКСИЈАЛНОСТИ КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА НА ВРЕДНОСТ НОРМАЛНЕ СИЛЕ	703-706
6. Jovana Srdić, Borislav Savković, PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA ZA MODELIRANJE IZLAZNIH KARAKTERISTIKA PRI OBRADI LASEROM	707-711

Radovi iz oblasti: Elektrotehnika i računarstvo

1. Јована Лисица, ПРИНЦИПСКА НАЧЕЛА И ТЕХНОЛОШКЕ ОСНОВЕ РАДА КОГЕНЕРАТИВНОГ ПОСТРОЈЕЊА ЕЛЕКТРАНЕ НА БИОГАС	712-715
2. Nađa Mandić, МАТЕМАТИЧКИ MODEL KLIMA KOMORE	716-719
3. Stefan Aleksić, PARALELNO PRETRAŽIVANJE GRAFA NA ARHITEKTURAMA SA DISTRIBUIRANOM I DELJENOM MEMORIЈOM	720-724

	STRANA
4. Strahinja Avramović, IMPLEMENTACIJA DISTRIBUIRANOG ANTENSKOG SISTEMA U PROSTORU STAMBENO- POSLOVNOG KOMPLEKSA	725-728
5. Dejan Polovina, LORAWAN TEHNOLOGIJA I IOT SERVISNA PLATFORMA U MREŽAMA MOBILNIH OPERATERA	729-731
6. Filip Milanković, Stevan Cvetićanin, PRELAZNI REŽIMI PRILIKOM ENERGIZACIJE, KRATKIH SPOJEVA I OPTEREĆIVANJA TRONAMOTAJNIH TRANSFORMATORA SA PODELJENIM NAMOTAJIMA	732-735
7. Дејан Јовановић, РАЗВОЈ И АРХИТЕКТУРА GAME ENGINE ПОГОНА ИГРЕ	736-739
8. Ljubica Potrebić, TROSLOJNA ARHITEKTURA KAO SOFTVERSKO REŠENJE SISTEMA ZA EVIDENCIJU RADA ZAPOSLENIH	740-743
9. Лука Милетић, ПРИМЕНА АЛАТА И ПРАКСИ АУТОМАТИЗАЦИЈЕ У DEVOPS МЕТОДОЛОГИЈИ	744-747
10. Filip Jakovljević, DETEKCIJA POLJA SOLARNIH ELEKTRANA SA SATELITSKIH SNIMAKA	748-750
11. Filip Zdelar, SENTIMENT ANALIZA OBJAVA SA DRUŠTVENE MREŽE TWITTER O COVID-19 VAKCINAMA	751-754
12. Teodora Kostić, HETEROGENO INTEGRISANI KAPACITIVNI SENZOR ZA ODREĐIVANJE SILE NA STOPALIMA	755-758
13. Петар Цанић, ОБРАДА СЛИКЕ ПОМОЋУ TENSORFLOW И КОНВОЛУЦИЈСКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА .	759-761
14. Žolt Kančar, Aleksandar Stanisavljević, Vladimir A. Katić, PREGLED RASPOLOŽIVOG SOFTVERA ZA SOLARNE FN ELEKRANE	762-765
15. Николина Павковић, ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНА АПЛИКАЦИЈА ЗА БЕЗБЕДНО ДИСТРИБУИРАНО ЧУВАЊЕ ПОДАТАКА ПРИМЕНОМ БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈЕ	766-769
16. Матија Матовић, Јелена Сливка, СИСТЕМИ ЗА ПРЕПОРУКУ У Е-COMMERCE ПЛАТФОРМАМА ЗАСНОВАНИ НА ГРАФ НЕУРОНСКИМ МРЕЖАМА	770-773
17. Огњен Богдановић, ПРИМЕР КОМПЛЕТНЕ ВЕБ АПЛИКАЦИЈЕ У ПРОГРАМСКОМ ЈЕЗИКУ РАСТ	774-777
18. Žarko Blagojević, ANALIZA SENTIMENTA PESAMA	778-781
19. Ana Rašić, OBRADA I ANALIZA SATELITSKIH VIDEO SNIMAKA	782-785
20. Ана Граховац, ПРЕДИКЦИЈА ДУЖИНЕ БОРАВКА ПАСА И МАЧАКА У ПРИХВАТИЛИШТУ ЗА ЖИВОТИЊЕ	786-789
21. Теодора Маруна, ANALIZA SENTIMENTA PESAMA	790-793
22. Albert Makan, PLATFORMA ZA KONTROLU VERZIJA I SARADNJU ZASNOVANA NA AWS USLUGAMA	794-797

Radovi iz oblasti: Građevinarstvo

1. Наталија Глишић, ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПОЈАЧАНОГ ОДРЖАВАЊА ДРЖАВНОГ ПУТА ІБ 22 Деоница: РАШКА (КОСОВСКА МИТРОВИЦА) – НОВИ ПАЗАР (БАЊА)	798-801
2. Nemanja Budalić, ANALIZA VREMENSKE EFIKASNOSTI SOFTVERA ARMCAD I BIM SOFTVERA ALLPLAN	802-805
3. Vladan Sarkić, UPRAVLJANJE IZGRADNJOM STAMBENO – POSLOVNOG OBJEKTA SA FINANSIJSKO – EKONOMSKOG ASPEKTA	806-809
4. Emrah Muhović, UNAPREĐENJE PUTNE INFRASTRUKTURE PRIMENOM BIM METODOLOGIJE U RAZLIČITIM FAZAMA ŽIVOTNOG CIKLUSA OBJEKTA	810-813
5. Мирко Бурсаћ, ПРЕФАБРИКОВАНИ ЕЛЕМЕНТИ – БЕХАТОН И ИВИЧЊАЦИ У НИСКОГРАДЊИ	814-817
6. Filip Sajdl, Slobodan Šupić, ПРЕФАБРИКОВАНИ ЕЛЕМЕНТИ – БЕХАТОН И ИВИЧЊАЦИ У НИСКОГРАДЊИ	818-821
7. Luka Bajović, IZRADA INVESTICIONOG PROGRAMA I NJEGOVA FINANSIJSKO-EKONOMSKA ANALIZA NA PRIMERU IZGRADNJE STAMBENO-POSLOVNOG OBJEKTA	822-826
8. Михаило Марјановић, АНАЛИЗА ТРОШКОВА ИЗГРАДЊЕ КРУЖНИХ ТОКОВА У ЈАРКОВЦУ, ПАНЧЕВУ И НОВОМ САДУ	827-831
9. Milan Nikolić, PRORAČUN ČELIČNOG SANDUČASTOG MOSTA RASPONA 70+100+70M I UPOREDNA ANALIZA VERTIKALNOG SAOBRAĆAJNOG OPTEREĆENJA	832-835
10. Александар Кањевац, Драго Жарковић, КОНТРОЛА ГРАНИЧНОГ СТАЊА УПОТРЕБЉИВОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЈА ПРИ ОГРАНИЧЕНОМ ПРЕДНАПРЕЗАЊУ ПРИМЕНОМ РАЗВИЈЕНОГ МАТЛАВ АЛАТА	836-839
11. Stefan Madžarević, ORGANIZACIJA GRAĐENJA U SPECIFIČNIM USLOVIMA – NA PRIMERU HOTELA U SREMSKIM KARLOVCIMA	840-843
12. Јован Никшић, ИДЕЈНО РЕШЕЊЕ СПОЉНЕ ХИДРАНТСКЕ МРЕЖЕ КОМПЛЕКСА ПИВАРЕ „CARLSBERG–СРБИЈА“ Д.О.О. У ЧЕЛАРЕВУ	844-846

SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE PRIMJENOM REVERZIBILNE TOPLOTNE PUMPE, TOPLOTNOG SKLADIŠTA I ORC CIKLUSA**REVERSIBLE HEAT PUMP, HEAT STORAGE AND ORC CYCLE AS ENERGY STORAGE**

Marija Nježić, Borivoj Stepanov, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Očuvanje životne sredine i proces dekarbonizacije doveli su do sve veće upotrebe obnovljivih izvora energije. Sistemi za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora zahtijevaju izgradnju skladišta električne energije da bi se njihov potencijal iskoristio. Postoje različite tehnologije skladištenja energije. Jedan od njih je i toplotno-pumpno skladište u kome se električna energija skladišti u vidu toplotne, te potom ponovo transformiše u električnu. U ovom radu, ispitano je da li ovi sistemi mogu da dostignu efikasnost veću od 70% za definisane parametre i radno sredstvo. Takođe, ispitan je uticaj efikasnosti energetske mašine na ukupnu efikasnost sistema.

Ključne reči: Skladištenje električne energije, Toplotno-pumpno skladište, ORC ciklus

Abstract – Environment protection and decarbonization have led to increase in renewable energy source usage. In order to fulfill renewable energy source potential, it is necessary to install energy storage. There are several energy storage technologies. One of them is pumped thermal energy storage. Pumped thermal energy storage stores electricity in form of heat, which is transformed back into electricity. The first aim of this paper, is to investigate whether these storage systems can reach efficiency higher than 70%. The second aim is to determine the impact of energy machine efficiency on the overall efficiency of the storage.

Keywords: Electricity energy storage, Pumped thermal energy storage, ORC cycle

1. UVOD

Očuvanje životne sredine i smanjenje negativnih posljedica klimatskih promjena, odnosno smanjenje ukupnog karbonskog otiska su postali jedan od ključnih zadataka zemalja svijeta. Da bi se postigao postavljeni cilj Evropske Unije o potpunoj dekarbonizaciji do 2050. godine procenat električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora je u značajnom porastu. Pored povećanja udjela energije dobijene iz obnovljivih izvora, potrebno je posvetiti pažnju i skladištima energije koja obezbjeđuju fleksibilnost energetske mreže. Postoje različite tehnolo-

gije za skladištenje energije, među kojima je toplotno-pumpno skladište (TPS).

2. SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Skladištenje električne energije podrazumijeva pretvaranje viška električne energije u odgovarajući vid energije koji je moguće uskladištiti (mehanička, elektrohemijska, hemijska, toplotna) te potom ponovo pretvoriti u električnu energiju kada se za to javi potreba. Na ovaj način se omogućuje integracija energije proizvedene iz obnovljivih izvora (energija vjetra, solarna energija), ekonomska arbitraža (punjenje skladišta kada su potražnja za energijom i cijena niske, prodaja kada su potražnja i cijena visoki), izravnavanje opterećenja i smanjenje vršnog opterećenja (smanjenje potrebe za proizvodnjom električne energije iz termoelektrana, nuklearnih elektrana i sl.), te za potrebe ujednačavanja u snabdijevanju iz obnovljivih izvora sa prekidima u proizvodnji ili za skladištenje proizvedenih viškova za odloženo snabdijevanje [1,2].

Najveći procenat izgrađenih kapaciteta skladišta električne energije, čak 94% na svjetskom nivou, izveden je u vidu hidro-pumpnih skladišta energije [3]. Osnovni nedostatak ovog vida skladištenja jeste geografska ograničenost.

2.1 Toplotno-pumpna skladišta električne energije (TPS)

Princip rada TPS sistema zasniva se na skladištenju viška proizvedene električne energije u vidu toplotne energije, te pretvaranje uskladištene toplotne energije ponovo u električnu kada je potražnja velika.

Osnovne prednosti TPS-a jesu geografska nezavisnost, velika gustine energije, dug vijek trajanja, komercijalna dostupnost elemenata sistema i slično.

Osnovni nedostaci se odnose na nedovoljnu istraženost tehnologije i nizak stepen efikasnosti (50-70%) [4]. Sistem koji je posmatran u radu sastoji se od toplotne pumpe kojom se podiže temperaturni nivo otpadne toplote, skladišta toplote i ORC ciklusa za proizvodnju električne energije.

3. ORGANSKI RANKINOV CIKLUS

Organski Rankinov ciklus (ORC) predstavlja zatvoreni termodinamički proces koji je baziran na klasičnom Rankin-Klauzijusovom ciklusu, pri čemu se umjesto vode kao radno sredstvo koriste organski fluidi. Sastoji se od četiri komponente – isparivač, turbina, kondenzator i pumpa.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Borivoj Stepanov, vanr. prof.

Prednosti ORC ciklusa ogledaju se u mogućnosti izgradnje postrojenja ostrvskog tipa, širok spektar radnih sredstava, niski troškovi održavanja, upravljanje sistemom je automatizovano i ne zahtijave kvalifikovanu radni snagu, ne podliježu najstrožim regulativama po pitanju bezbjednosti i slično. Nedostaci su izraženi na polju primjene radnih sredstava koja povećavaju investiciona ulaganja i mogu negativno da utiču na životnu sredinu, kao i nizak stepen efikasnosti [1,5].

4. IZBOR OSNOVNIH ELEMENATA TPS SISTEMA

Izbor radnog sredstva i energetske mašine predstavljaju najvažniji korak pri projektovanju TPS sistema.

4.1 Izbor radnog sredstva (fluida)

Izbor radnog sredstva ima značajan uticaj na termodinamičke osobine, veličinu i cijenu postrojenja. Postoje različiti kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor odgovarajućeg radnog sredstva. Prema [5] najvažniji kriterijumi su: uticaj na životnu sredinu, vrijednost entalpijskog pada, tačka ključanja, vrsta fluida, vrijednost latentne toplote, termofizičke karakteristike, bezbjednosni zahtjevi, pristupačnost i cijena.

4.2 Izbor toplotne mašine

Odabir vrste i kapaciteta energetske mašine zavisi od karakteristika radnog sredstva i radnih uslova. Energetske

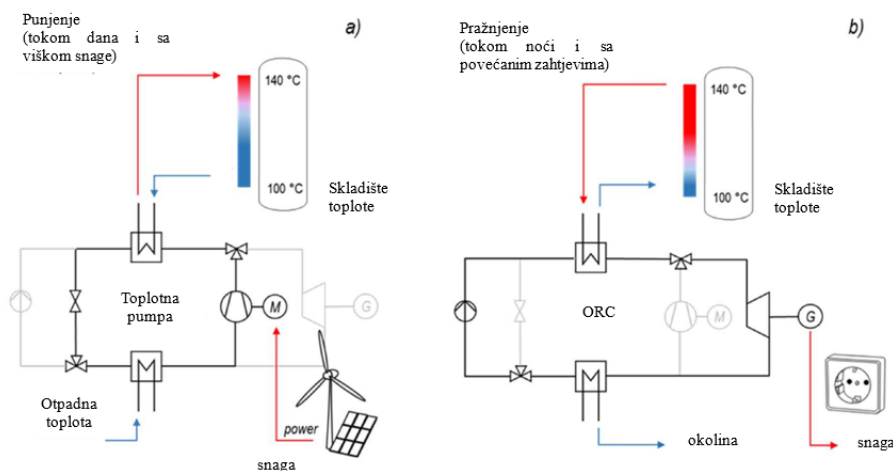
mašine se dijela u dvije grupe, zapreminske mašine i turbomašine. Zapreminske mašine se koriste za snage manje od 100 kW, odnosno primjenjuju se u sistemima za koje je karakterističan nizak protok, veći odnos pritiska i mali broj obrtaja. Turbomašine se koriste za veće snage, velike protoke i veliki broj obrtaja [6,7].

5. OPIS POSMATRANOG TPS SISTEMA

Posmatrani sistem se sastoji od reverzibilne toplotne pumpe, skladišta toplotne energije i ORC sistema.

Proces punjenja skladišta, prikazan na Slici 1. a), predstavlja fazu rada toplotne pumpe. Niskotemperaturna otpadna toplota isparava radno sredstvo u isparivaču toplotne pumpe, nakon čega se para radnog sredstva komprimuje i odvodi u kondenzator gdje toplotu predaje radnom sredstvu skladište toplotne. Kondenzovano radno sredstvo se odvodi u ekspanzioni ventil i potom ponovo u isparivač nakon čega se ciklus ponavlja.

Proces pražnjenja, faza rada ORC ciklusa, se vrši tako što radno sredstvo ORC ciklusa isparava u isparivaču dovođenjem uskladištene toplotne energije. Para radnog sredstva potom ekspandira u turbini, pri čemu turbine pokreće generator i proizvodi električnu energiju. Radno sredstvo se nakon turbine vodi u kondenzator, gdje se kondenzuje i zatim vodi u pumpu, nakon čega se ciklus ponavlja, kao što je prikazano na Slici 1. b).



Slika 1. Šematski prikaz procesa punjenja i pražnjenja posmatranog sistema [8]

6. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Kako se cjelokupan sistem sastoji od tri podsistema (toplotna pumpa, skladište toplotne i ORC sistem), efikasnost sistema se definiše sljedećim izrazom [9]:

$$\eta_{P2P} = COP \cdot \eta_{st} \cdot \eta_{ORC} \quad (1)$$

Svaki od podsistema karakteriše odgovarajući koeficijent efikasnosti [9]:

- Za toplotnu pumpu (eng. COP - Coefficient of Performance):

$$COP = \frac{Q_{st}}{L_{hp}} \quad (2)$$

gdje su Q_{st} toplotna energija koja je iz toplotne pumpe predata toplotnom skladištu i L_{hp} električna energija iskorišćena za rad toplotne pumpe

- Za toplotno skladište:

$$\eta_{st} = \frac{Q_{ORC}}{Q_{st}} \quad (3)$$

gdje je Q_{ORC} toplota predata ORC sistemu iz toplotnog skladišta

- Za ORC sistem:

$$\eta_{ORC} = \frac{L_{ORC}}{Q_{ORC}} \quad (4)$$

gdje je L_{ORC} električna energija proizvedena u ORC sistemu.

U Tabli 1 su navedene usvojene vrijednosti parametra za proračun posmatranog sistema.

Tabela 1. Usvojene vrijednosti parametara rada sistema

	Vrijednost	Jedinica
Električna snaga kompresora	100	kW
Temperatura izvora toplote (otpadna toplota)	90	°C
Pritisak kondenzacije ORC ciklusa	1,01	bar
Temperatura isparavanja toplotne pumpe	75	°C
Donja temperatura skladištenja	90	°C
Minimalna gornja temperatura skladištenja	110	°C
Maksimalna gornja temperatura skladištenja	160	°C
Minimalna razlika temperatura pri procesu razmjene toplote	5	°C
Temperatura rashladnog sredstva na ulazu u kondenzator	20	°C
Maseni protok rashladnog sredstva kroz kondenzator	10	kg/s
Izentropska efikasnost kompresora/ekspanzionog uređaja	0,7	-
Izentropska efikasnost pumpe	0,7	-
Efikasnost skladišta	1	-

U proračunu su analizirana tri radna sredstva R365mfc, R123 i R245ca.

7. REZULTATI I DISKUSIJA

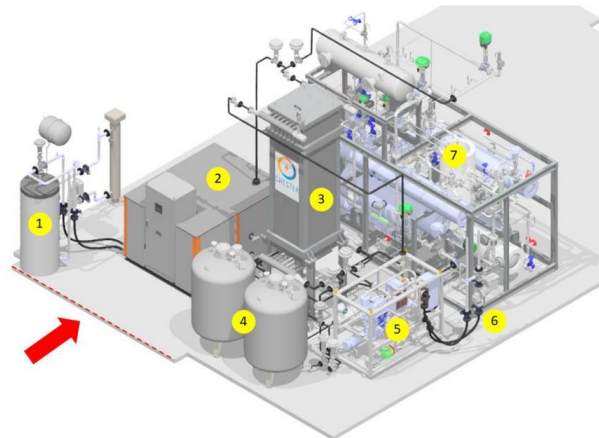
Analizom rezultata proračuna izdvajaju se sljedeći zaključci:

1. R245ca se pokazalo kao najbolja opcija za posmatrani sistem,
2. Efikasnost toplotne pumpe opada sa povećanjem gornje temperature skladištenja,
3. Efikasnost ORC ciklusa raste sa povećanjem gornje temperature skladištenja,
4. Ukupna efikasnost sistema se smanjuje sa povećanjem gornje temperature skladištenja,
5. Efikasnost toplotne pumpe se povećava se povećanjem efikasnosti kompresora,
6. Efikasnost ORC ciklusa se povećava se povećanjem efikasnosti turbine i
7. Sa povećanjem efikasnosti energetskih uređaja povećava se i ukupna efikasnost sistema.

8. TOPLOTNO-PUMPNO SKLADIŠTE – PROJEKAT CHEST

CHEST (eng. Compressed Heat Energy Storage) je istraživački projekat koji je sproveden u periodu od aprila 2018. do marta 2023. godine, sa ciljem razvoja, izrade i laboratorijskog ispitivanja CHEST koncepta. CHEST predstavlja toplotno-pumpno skladište električne energije, koje se sastoji od [10] visokotemperaturske toplotne pumpe (eng. High Temperature Heat Pump - HTHP) - za transformaciju toplotne energije niskotemperaturskog izvora u električnu energiju, primjenom električne energije iz obnovljivih izvora, visokotemperaturskog skladišta toplote (eng. High-Temperature Thermal Energy Storage System - HT-TESS) - za skladištenje toplotne energije koju predaje toplotna pumpa i organskog Rankinovog ciklusa (eng. Organic Rankine Cycle - ORC) - za proizvodnju električne energije i niskotemperaturske toplote.

Cilj CHESTER projekta jeste razvoj, konstrukcija i eksperimentalno testiranje prvog prototipa TPS sistema. Kao laboratorijski model (prototip) je korišćeno laboratorijsko postrojenje sa izlaznom električnom snagom od 10 kWe i koje se sastojalo se od osnovnih elemenata CHEST sistema: toplotne pumpe, toplotnog skladišta i ORC sistema. Dispozicija opreme u laboratoriji prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Dispozicija opreme u laboratoriji za ispitivanje CHEST sistema: 1-izvor toplote, 2 – isparivač toplotne pumpe, 3 – skladište latentne toplote, 4 – skladište osjetne toplote, 5 – ORC sistem, 6 – toplotni ponor, 7 – generator pare radnog sredstva [11]

8.1 Rezultati laboratorijskih ispitivanja

Nakon sprovedenih 11 testova i analize dobijenih podataka došlo se do sljedećih rezultata [12]:

1. Proces punjenja skladišta, odnosno rada toplotne pumpe i skladišta toplote, traje 4,7 h sa prosječnim utroškom električne energije od 45,5 kWhel, odnosno utroškom snage od 10 kWe;
2. Proces pražnjenja skladišta, odnosno rad skladišta toplote i ORC ciklusa, je trajao 1,6 h proizvodeći 10,9 kWhel električne energije pri snazi između 5 i 8 kWe;
3. Efikasnost prototipa od 10 kWe kreće se u rasponu od 17,9% do 37,2% za manje veličine postrojenja, dok se za velika postrojenja predviđa efikasnost od 68%;
4. Povećanje stepena tehnološkog razvoja sa TRL3 na TRL5.

Na osnovu sprovedenih ispitivanja i analiza ustanovljeno je da teorijski koncept komprimovanog skladišta toplotne energije CHEST uspješno funkcioniše u laboratorijskim uslovima.

9. ZAKLJUČAK

Analizom posmatranog toplotno-pumpnog skladišta ustanovljeno je da ovaj vid skladištenja električne energije ima potencijal za dalji razvoj i komercijalizaciju. Rezultati proračuna daju zadovoljavajuće rezultate. Ukupna efikasnost sistema, za usvojene parametre i radno sredstvo, se kreće između 75 i 97%.

Dalja istraživanja treba usmjeriti na ispitivanja sistema većih kapaciteta i unapređenje elemenata sistema, kao što

su kompresori i ekspanzioni uređaji. Nadalje, potrebno je ispitati i potencijal integracije sektora električne i toplotne energije i primjenu poligeneracije.

10. LITERATURA

[1] Миловановић, Здравко, и др. „Поглавље 7 Складиштење енергије“, у: Одрживо планирање енергије: технологије и енергетска ефикасност, Бања Лука, 2018.

[2] XUE, Haobai. A comparative analysis and optimisation of thermo-mechanical energy storage technologies. 2019. (докторска дисертација), Универзитет у Кембриџу, 2019. доступно на: <https://doi.org/10.17863/CAM.37776>

[3] Koen A. et Antunez P. F., 2020. *Pumped Thermal Electricity Storage: grid-scale, cheap materials, known tech, compact, install anywhere*, доступно на: <https://energypost.eu/pumped-thermal-electricity-storage-grid-scale-cheap-materials-known-tech-compact-install-anywhere/>, [приступљено: 12.09.2023.]

[4] European commission. Recommendations on energy storage, доступно на: https://commission.europa.eu/index_en, [приступљено: 9. 9. 2023.]

[5] Guoquan Qiu, *Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC*, Renewable Energy, Volume 48, 2012, стране 565-570, ISSN 0960-1481, доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.006>

[6] Qiu, G., Liu, H., et Riffat, S., 2011., *Expanders for micro-CHP systems with organic Rankine cycle*. Applied Thermal Engineering, 31(16), 3301–3307, доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.06.008>

[7] Циримотић Д., 2021., *Термодинамички ОРЦ процес за искориштавање геотермалне енергије*, завршни рад, Загреб: Факултет кемијског инжењерства и технологије, Свеучилиште у Загребу

[8] Staub, S., et al., 2018., *Reversible heat pump–organic Rankine cycle systems for the storage of renewable electricity*. Energies, 11.6: 1352., доступно на: <https://doi.org/10.3390/en11061352>

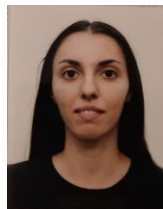
[9] Frate, G. F., Antonelli, M., & Desideri, U., 2017., *A novel Pumped Thermal Electricity Storage (PTES) system with thermal integration*. Applied Thermal Engineering, 121, 1051–1058. доступно на: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.127>

[10] Stark, S., Bestenlehner, D., 2018., *CHESTER D4.9: Roadmap for future development of CHEST system*, доступно на: <https://www.chester-project.eu/>, [приступљено: 20.09.2023.]

[11] Bauer, D., Gutierrez, A., Johnson, M. et Weller T., 2022., *D5.2: Installation and commissioning of components and whole CHEST prototype*, доступно на: <https://www.chester-project.eu/>, [приступљено: 22.09.2023.]

[12] CHESTER, 2023., *Successful operation of the CHEST system!*, доступно на: <https://www.chester-project.eu/>, [приступљено: 1. 10. 2023.]

Kratka biografija:



Marija Nježić rođena je u Banjaluci 1997. godine. Osnovne studije završila je na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci, studijski program Energetsko i saobraćajno mašinstvo, 2021. godine.



Borivoj Stepanov rođen je 1976. godine u Novom Sadu, doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2014. godine, trenutno radi u zvanju vanrednog profesora, a oblast interesovanja su mu inovativni energetske sistemi.

ОДРЕЂИВАЊЕ ЛОКАЛНИХ НАПОНА ПОД ТОЧКОМ У ПОЈАСУ I-НОСАЧА DETERMINATION OF LOCAL STRESSES IN WHEEL SUPPORTING I-BEAM FLANGE

Славко Матерић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – У раду је извршено одређивање локалног напрезања доње стопе IPN 240 профила испод точкова колица једногредне порталне радионичке дизалице на два начина: рачунски према два релевантна стандарда из те области SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6 и компјутерски методом коначних елемената. Добијени резултати су коришћени ради поређења са резултатима добијеним експерименталном анализом, како би се испитала подударност све три методе прорачуна.

Кључне речи: Локални напони, I-носач, рачунски прорачун, метода коначних елемената.

Abstract – The local stress of the lower foot of the IPN 240 profile under the wheels of the single gantry crane beam was determined in two ways: according to two relevant standards in that field SRPS C.B3.131 and SRPS EN 1993-6 and computerically using the finite element method. The obtained results were used for the purpose of comparison with the results obtained by experimental analysis to examine the compatibility of all three calculation methods.

Keywords: Local stresses, I-beam, manual calculation, finite element method.

1. УВОД

Радионичка портална дизалица, слика 1, без шинске стазе на поду просторије представља веома флексибилно средство унутрашњег транспорта које служи за премештање терета са једног места на друго, при чему се, по правилу, на транспортованом терету не обављају додатни, сложенији технолошки захвати како се не би нарушила њена стабилност. Она спада у машине прекидног транспорта.



Слика 1. Радионичка портална дизалица лаке изведбе

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Атила Зелић.

Током транспорта, терет је слободно viseћи. Ослоначки точкови су везани одоздо на ноге дизалице и слободно су закретни, тако да дизалица као целина ручним померањем може да изводи четири различита кретања: транслаторно кретање дуж правца нормалног на главни носач, транслаторно кретање дуж правца главног носача, транслаторно косо кретање које обухвата комбинацију претходна два и ротацију у равни подлоге као што је приказано на слици 2 где је главно кретање дизање/спуштање терета приказано у правцу Z, док су помоћна транслаторна померања по поду приказана у правцима X, Y као и ротирање дизалице. Помоћно кретање (у Y правцу) остварују и колица (са корисним теретом, или без њега), при њеном померању дуж главног носача дизалице.



Слика 2. Могућа радна кретања радионичке порталне дизалице

2. ПРИКАЗ ИЗВЕДБЕ ПРЕДМЕТНЕ ДИЗАЛИЦЕ

Предметна дизалица се налази у Лабораторији за машинске конструкције, транспортне и грађевинске машине Машинског института Факултета техничких наука у Новом Саду. На слици 3 се јасно види да је на основну конструкцију причвршћена и додатна, монтажано-демонтажна радна платформа, која служи за одржавање једногредне мосне дизалице на шинској стази испод плафона лабораторије.

Приступ на ову платформу је могућ преко металних лестви са леђобранском заштитом. У складу са планом даљег развоја и унапређења лабораторијског простора, ова платформа није даље разматрана у раду пошто ће бити демотирана са порталне конструкције и нема никакав утицај на локална напрезања доње стопе главног носача ове дизалице. Главни носач је изведен као ваљани IPN 240 профил који је преко заварених бочних плоча на крајевима, вијцима са тачним налегањем спојен за горње крајеве обе ноге. Дуж овог носача крећу се колица посебне намене која

се користе за експерименталне анализе. На колица се причвршћују одговарајући подизни уређаји.



Слика 3. Предметна дизалица

3. ЗНАЧАЈ ПРИМЕНЕ I-ПРОФИЛА КАО ГЛАВНИХ НОСАЧА КОД ЈЕДНОГРЕДНИХ ДИЗАЛИЦА МАЛИХ НОСИВОСТИ И РАСПОНА

Брзи развој индустрије, нарочито мањих радионица где је неопходно померање лакших терета на краћим растојањима, довео је до раста потребе за уградњом једногредних дизалица мале носивости као што су мосне, порталне и конзолне.

Тежња за уштедом материјала довела је до тога да се I-профили највише примењују за извођење главних носача због велике носивости око јаче осе инерције, мале масе по дужином метру и малој површини попречног пресека.

Приликом пројектовања предметне дизалице за главни носач усвојен је IPN 240 профил, тако да она буде једногредна, материјала S355, дужине 3 m, масе 108,6 kg (36,2 kg/m) и вредности отпорног момента инерције око осе x (осе управну на правац дејства силе тежине терета) $W_x = 354 \text{ cm}^3$.

У табели 1 су приказане врсте разматраних профила који би се могли усвојити као главни носачи предметне дизалице, међу којима су IPN, НЕМ, UPN, кружна бешавна и правоугаона шавна цев, при чему су разматрани и случајеви када би изведена дизалица могла да буде једногредна или двогредна.

У табели се наводе називи профила, да ли се ради о случају када је главни носач једногредни или двогредни, вредности отпорних момената и масе главних носача за сваки случај посебно. Профили су бирани на основу вредности отпорног момента инерције тако да је усвојена прва приближна вредност оној вредности коју поседује IPN 240 профил.

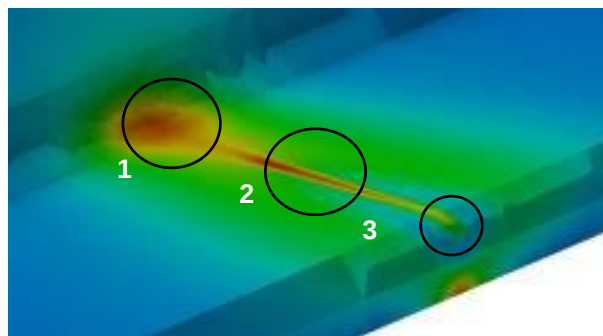
Из табеле 1 јасно се може закључити да од свих разматраних решења, профил IPN 240 у изведби једногредног главног носача поседује најмању масу, што је заправо и циљ сваког изабраног решења, да има што мању масу и ово је један од најважнијих разлога значаја примене IPN профила код једногредних дизалица малих носивости и распона као што су мосне, порталне и конзолне радионичке.

Табела 1. Разматрани случајеви могућих изведби главног носача предметне дизалице

Назив профила	Отпорни момент инер. $W_x \text{ (cm}^3\text{)}$	Маса главног носача дужине 3 m (kg)
IPN 240 једногредни	354	108,6
IPN 200 двогредни	$2 \times 214 = 428$	$2 \times 78,9 = 157,8$
НЕМ 140 једногредни	411	189,6
НЕМ 100 двогредни	$2 \times 190 = 380$	$2 \times 125,4 = 250,8$
UPN 200 двогредни	$2 \times 191 = 382$	$2 \times 75,9 = 151,8$
Кружна цев $\varnothing 219,1 \times 5$ двогредни	$2 \times 176 = 352$	$2 \times 79,2 = 158,4$
Правоугаона цев $180 \times 100 \times 8,8$ двогредни	$2 \times 196 = 392$	$2 \times 104,1 = 208,2$

4. ЛОКАЛНО НАПРЕЗАЊЕ ДОЊЕ СТОПЕ ИСПОД ТОЧКОВА КОЛИЦА

Високо квалитетни софтвери су омогућили да се уз примену методе коначних елемената могу пројектовати главни носачи једногредних дизалица са радним напонима веома блиским граничним, како би се у што већој мери смањила маса конструкције, а тиме и њена цена. Софтверске анализе у све већој мери замењују класичне рачунске, што доста олакшава и убрзава процес пројектовања у машиноградњи. Приликом пројектовања главних носача од I-профила велику пажњу треба обратити на три карактеристична места: 1 - место прелаза доње стопе и ребра; 2 - место испод дејства силе точка колица и 3 - место на крају доње стопе, слика 4, јер се ту добијају максимални напони који настају сабирањем локалних напона од глобалног савијања главног носача и локалних напона од дејства силе испод точкова колица.



Слика 4. Три карактеристична места за проверу локалних напона

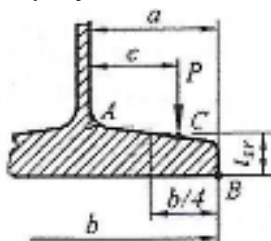
1 – место прелаза доње стопе и ребра; 2 – место испод дејства силе точка колица; 3 – место на крају доње стопе

5. РАЧУНСКИ ПРОРАЧУН ЛОКАЛНОГ НАПРЕЗАЊА ИСПОД ТОЧКОВА КОЛИЦА

Прорачун се спровео на два начина и то применом два релевантна стандарда из те области: SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6. Улазни подаци за оба прорачуна су били: сила испод точкова колица која је износила 9.080 N; удаљеност те силе од крајње ивице доње стопе за вредност 15 mm и геометријске карактеристике главног носача.

5.1 Прорачун према SRPS C.B3.131

Овај стандард се до недавно доста користио у Републици Србији и он предвиђа три карактеристичне тачке на попречном пресеку I-профила за проверу локалних напрезања: А – на месту између горње површине доње стопе и ребра; В – на крају доње стопе; С – на месту дејства силе точка, слика 5.



Слика 5. Карактеристичне тачке пресека

Након одређивања вредности локалних напона за сваку тачку посебно, следи да се израчунају укупни упоредни напони за сваку тачку посебно који представљају збир глобалних напона од савијања носача и локалних напона од точкова колица. Од интезитета ових напона зависи да ли ће доња газећа стопа на месту испод точкова колица бити изложена еластичним или пластичним деформацијама.

Упоредни напони добијени у тачкама А, В и С су:

$$\sigma_u^A = 12,28 \leq \sigma_{dop1} = 23,66 \text{ kN/cm}^2$$

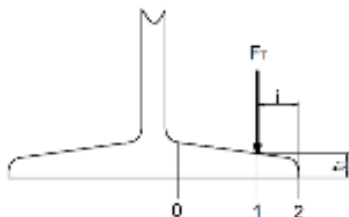
$$\sigma_u^B = 10,18 \leq \sigma_{dop1} = 23,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u^C = 17,81 \leq \sigma_{dop2} = 26,69 \text{ kN/cm}^2$$

5.2 Прорачун према SRPS EN 1993-6

Овај стандард представља новију верзију стандарда SRPS C.B3.131 и он се у данашње време доста користи за одређивање вредности локалних напона испод точкова колица на I-профилу на доњој газећој стопи.

Он исто предвиђа три карактеристична места за проверу локалних напрезања на попречном пресеку I-профила: 0 – место између доње стопе и ребра; 1 – место испод дејства силе; 2 – место на крају стопе, слика 6.



Слика 6. Карактеристична места пресека

Као и код стандарда SRPS C.B3.131, након одређивања вредности локалних напона за свако место посебно, следи да се израчунају укупни упоредни напони на тим местима који представљају збир глобалних напона од савијања носача и локалних напона од точкова колица. Упоредни напони добијени у местима 0, 1 и 2 су:

$$\sigma_{up}^0 = 78,44 < 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{up}^1 = 107,24 < 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{up}^2 = 96,85 < 355 \text{ MPa}$$

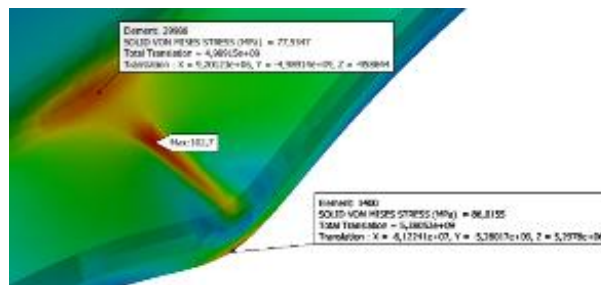
На основу оба урађена прорачуна (према SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6) може се констатовати да локални напони ма колико били мали у неким случајевима, када су напони услед глобалног савијања носача блиски граничним, могу нарушити стабилност главног носача тј. изазвати пластичну деформацију доње газеће стопе и тиме конструкцију учинити непримењивом. Стога је од велике важности, приликом пројектовања главних носача свих врста дизалица (једногредних, двогредних, мосних, конзолних, порталних и сл.) које као главне носаче имају неки од I-профила, да се изврши и провера локалног напрезања испод точкова колица.

6. ПРОРАЧУН ЛОКАЛНОГ НАПРЕЗАЊА ИСПОД ТОЧКОВА КОЛИЦА МЕТОДОМ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Прорачун локалног напрезања испод точкова колица методом коначних елемената је спроведен на два различита начина: 1 - анализа носача без точкова колица и 2 - анализа носача са точковима колица, како би се увидела разлика у анализи добијених решења. Улазни подаци за обе анализе су сила испод точка колица од 9.080 N и материјал главног носача S355.

6.1 Анализа носача без точкова колица

Код ове анализе за проверу локалног напрезања главног носача испод точкова колица методом коначних елемената искоришћен је стандардни 3Д модел IPN 240 профила. Вредности напона добијени на три карактеристична места приказани су на слици 7.



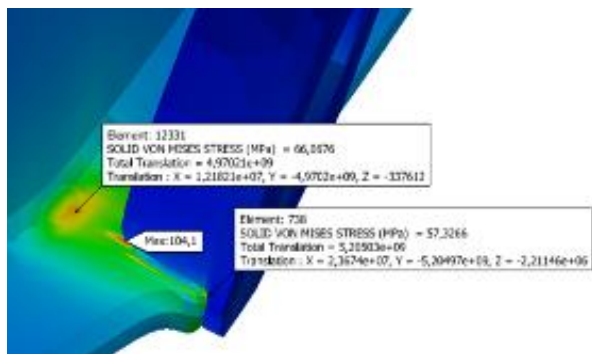
Слика 7. Упоредне вредности напона на три карактеристична места

На месту дејства силе у тачки 1 се јавља максимални напон који износи 102,7 МПа и он је за ≈ 5 МПа мањи од рачунског за ту тачку, на месту тачке 0 се јавља напон од 77,9 МПа који је за ≈ 1 МПа мањи од рачунског за ту тачку, а на месту тачке 2 се јавља напон који износи 86 МПа и који је за ≈ 10 МПа мањи

од рачунског за ту тачку. Овако добијени резултати су у великој мери блиски рачунским, што опрвдава примену методе коначних елемената.

6.1 Анализа носача са точковима колица

За ову анализу геометријске карактеристике главног носача су задржане као и у претходном случају, стим што су на доње стопе постављени точкови колица чије димензије одговарају стварним. Резултати напона добијени на три карактеристична места приказани су на слици 8.



Слика 8. Упоредне вредности напона на три карактеристична места

На месту тачке 1 се јавља максимални напон који износи 104,1 МПа и који је за ≈ 3 МПа мањи од рачунског за ту тачку, на месту тачке 0 се јавља напон интезитета 66 МПа који је за ≈ 12 МПа мањи од рачунског за ту тачку, док се на месту тачке 2 јавља напон интезитета 57 МПа који је за ≈ 40 МПа мањи од рачунског за ту тачку. Из наведеног се може закључити да напони добијени у тачкама 0 и 1 у великој мери одговарају рачунским, док се напон у тачки 2 драстично разликује од рачунске вредности, што може бити узрок неадекватног начина умрежавања коначних елемената на том месту. На основу анализе методом коначних елемената за оба случаја се може констатовати да су напони на местима тачке 1 (тачка дејства силе) и 0 (тачка на месту прелаза доње стопе и ребра) у великој мери блиски рачунским тј. да се разликују за $\approx 5\%$ и да су ти напони меродавни за анализу, док напони на местима тачке 2 због лошије карактеристике умрежавања коначних елемената (која је коришћена у овом раду) на тим местима нису меродавни за анализу.

7. ПОРЕЂЕЊЕ ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Главни задатак овог рада је поређење добијених резултата рачунском методом и методом коначних елемената са резултатима добијеним експерименталном анализом. У табели 2 су приказане вредности упоредних напона за тачке 0, 1 и 2 које су добијене рачунском методом (за оба стандарда SRPS C.B3.131 и SRPS EN 1993-6), методом коначних елемената и експерименталним мерењем. Из табеле се јасно види да вредности напона добијене експерименталним мерењем у тачки 2 знатно одступају од вредности добијених другачијим мерењем из разлога што се у

експерименту касније установило да точак не належе на адекватан начин на доњи појас I-профила, па се зато јављају овако велики локални напони на том месту.

Табела 2. Упоредни напони у карактеристичним тачкама при различитим мерењима

тачка	Вредности упоредног напона (МПа)			
	SRPS C.B3.131	SRPS EN 1993-6	МКЕ (без очка)	експеримент
0	122,8	78,44	77,9	119,4
1	178,1	107,24	102,7	169,7
2	101,8	96,85	86,01	253,47

8. ЗАКЉУЧАК

Високо квалитетни софтвери су омогућили да се уз примену методе коначних елемената могу пројектовати главни носачи једногредних дизалица са радним напонима веома блиским граничним, како би се у што већој мери смањила маса конструкције, а тиме и њена цена. Софтверске анализе у све већој мери замењују класичне рачунске, што доста олакшава и убрзава процес пројектовања у машиноградњи. Локални напони ма колико били мали у неким случајевима, када су напони услед глобалног савијања носача блиски граничним, могу нарушити стабилност главног носача тј. изазвати пластичну деформацију доње газеће стопе и тиме конструкцију учинити непримењивом. Зато је од велике важности, приликом пројектовања главних носача свих врста дизалица (једногредних, двогредних, мосних, конзолних, порталних и сл.) које као главне носаче имају неки од I-профила, да се изврши и провера локалног напрезања испод точкова колица.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Извод из стандарда SRPS C.B3.131.
- [2] Извод из стандарда SRPS EN 1993-6.
- [3] Р. Шостаков, А. Зелић: *Дизалице* (скрипта са практикумом), ФТН, Нови Сад, 2017.
- [4] В. Гашић: *Основе металних конструкција у машиноградњи (приручник)*, МФ, Београд, 2017.
- [5] З. Петковић, Д. Острић: *Металне конструкције у машиноградњи 1*, МФ, Београд, 1996.

Кратка биографија:



Славко Матерић рођен је у Новом Саду 1996. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинство – Механизација и конструкционо машинство одбранио је 2023.год. контакт: 1996slavko@gmail.com

**STALNA SREDSTVA ZA BEZBEDAN PRISTUP MAŠINAMA – OSNOVNE SMERNICE
ZA PROJEKTOVANJE****PERMANENT MEANS FOR SAFE ACCESS TO MACHINERY – BASIC GUIDELINES
FOR DESIGN**

Branka Bečanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U okviru rada posebno se obraća pažnja na bezbedan pristup mašinama i na koji način povećati istu. Tu su svakako i smernice kojih se treba pridržavati da bi se projektovao bezbedan pristup mašinama, radi njihovog servisiranja ili popravke.

Ključne reči: Bezbednost, projektovanje, pristup mašinama, standardi.

Abstract – The framework of the paper focuses particularly on safe access to machines as well as the ways to increase it. There are also guidelines that should be adhered to in order to plan a safe access to machines for the purpose of their servicing or repair.

Keywords: Safety, planning, access, standards.

1. UVOD

Tema ovog rada bavi se stalnim sredstvima pristupa kako mašinama, tako i postrojenjima.

Prvi deo rada odnosi se na pregled najzastupljenijih stalnih sredstava za bezbedan pristup mašinama i postrojenjima, odnosno na regulative koje definišu konstrukciona rešenja pristupa i njihov šematski prikaz. Primenom propisanih standarda, ostvaruje se bezbedna sredina za osobe koje se nalaze u potencijalno opasnoj sredini.

Drugi deo rada se odnosi na model koji je projektovan u skladu sa standardom ISO 14122. U primeru je prikazano pumpno postrojenje sa galerijskim delom, jama u kojoj su smeštene pumpe, sa akcentom na stalna sredstva za bezbedan pristup pumpama i kontroloj tabli. Model je podeljen po karakterističnim oblastima, koje su dalje detaljno objašnjene.

**2. IZBOR NEPOKRETNIH SREDSTAVA ZA
PRILAZ IZMEĐU DVA NIVOVA**

Postoje značajne opasnosti prilikom prilaza između dva nivoa, kao što su klizanje, padanje, spoticanje, ispadanje predmeta. Upravo takve opasnosti su razlozi za pažljivo razmatranje pri izboru nepokretnih sredstava za prilaz između dva nivoa.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Atila Zelić, docent.

2.1. Lestve sa pregačama

Lestve sa pregačama, slika 1, su nepokretna sredstva za prilaz pod uglom od 75° do 90° . Prilikom projektovanja mašine bilo bi najbolje da se izbegne upotreba lestvi sa pregačama, jer imaju dosta nedostataka i mogu da budu rizične za bezbenost zaposlenih. Lestve sa pregačama se najčešće projektuju ukoliko nije planirano da se koriste često, ukoliko struktura mašine nije predviđena drukčije, na primer u slučaju kratkog vertikalnog rastojanja.



Slika 1. Lestve sa pregačama

2.2. Lestve sa stepenicama

Lestve sa stepenicama se koriste kao nepokretna sredstva za prilaz mašinama. Ova vrsta lestava se projektuju za prilaz pod uglom nagiba od 45° do 75° .

2.3. Stepenice

Stepenice predstavljaju nepokretno sredstvo, slika 2, koje se projektuje, gde je stepen nagiba od 20° do 45° . Ova vrsta prilaza mašinama je jedna od bezbednijih.



Slika 2. Stepenice

2.4. Strma ravan

Strma ravan predstavlja nepokretno sredstvo za prilaz između dva nivoa. Strma ravan se projektuje kao kontinualna ravan pod nagibom od 0° do 20° .

Prilikom izbora nepokretnih sredstava za prilaz između dva nivo treba voditi računa o izboru sredstava. Neophodno je projektovati sredstvo koje najbolje u datoj prilici pruža bezbednost zaposlenom licu, koji ga koristi za pristup mašini radi servisiranja ili popravke.

Sva nabrojana sredstva za prelaz između dva nivoa imaju svoje prednosti i mane. Prilikom odabira mora se uzeti u obzir i okolina mašine, materijal od kojih se izrađuje sredstvo kao i da se zadovoljavaju svi standardi koji su propisani.

3. RADNE PLATFORME I STAZE

Zadatak radne platforme ili radne staze je da na bezbedan način omogući prilaz mašini, kako bi se pristupilo redovnom održavanju ili otklanjanju kvarova [2].

Kako bi radne platforme bile bezbedene za korišćenje, svi delovi moraju biti tako konstruisani da spreče bilo koji vid povrede, da otpornost na proklizavanje bude što veća, da budu tako konstruisane i uklopljene sa mašinom da zaštite osobu od pada sa njih.

Radne platforme moraju se ugraditi u skladu sa ergonomijom čoveka.

Projektuju se u skladu sa standardima EN 547-1 i EN 574-3 koji propisuju da minimalni slobodni prostor iznad radnih platformi i staza mora biti veći od 2100 mm.

Čista širina staze prema istim standardima mora biti najmanje 600 mm, ali preporuka iz prakse je da bude 800 mm.

U specifikacijama radnih platformi i staza treba da se navedu opterećenja za koje su projektovane. Opterećenje se izračunava u zavisnosti od broja lica na radu na određenoj lokaciji, težini potrebnih alata, rezervnih delova i opreme za rad, jačina udara o konstrukciju prilikom pada alata.

Minimalno radno opterećenje koje je proračunato za radne platforme i staze je 2kN/m^2 ispod raspoređenog opterećenja za strukturu kao 2kN/m^2 i $1,5\text{kN}$ koncentrisanog opterećenja koje deluje na najnepovoljnijem mestu na površini od $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ za podnice.

Radne platforme i staze zbog bezbednosti imaju i zaštitne ograde. One se projektuju na platformama i stazama na kojima postoji rizik od pada, potapanja ili onesveščivanja, ukoliko su radne platforme na visini.

4. STEPENICE, LESTVE SA STEPENICAMA I ZAŠTITNE OGRADE

Stepenice ili lestve obezbeđuju prolaz peške od jednog nivoa do drugog. Pri projektovanju stepenica ili lestava mora se obratiti pažnja na uspon, gazište, liniju nagiba, preklop, podesnu širinu, dubinu stepenika [3].

Svaka od ovih stavki treba da ispunji određene standarde da bi konačna konstrukcija zadovoljila propisane uslove.

Može se zaključiti da je ključni faktor bezbednosti kod stepenica je hrapava površina, čime se izbegava mogućnost klizanja. Materijal mora da odgovara sredini i u zavisnosti od atmosferskih uslova.

Zaštitnom ogradom, slika 3, se moraju opremiti stepenice, lestve sa stepenicama, lestve sa pregačama, platforme i staze. Zaštitna ograda je zaštita od slučajnog prolaza u potencijalno opasno područje ili zaštita od slučajnog pada.



Slika 3. Zaštitna ograda na stepenicama

Prilikom projektovanja zaštitne ograde mora se voditi računa o rukohvatima, zaštiti u nivou kolena, zaštiti u nivou stopala, kao i zaštitom stuba koji spaja zaštitnu ogradu za platformu ili stepenice.

5. NEPOKRETNE LESTVE

Pod nepokretnim lestvama podrazumevaju se:

- sistem nepokretnih lestava – to su lestve koje se sastoje od najmanje jednog kraka lestava, sistema za zaštitu od pada i platforme [5], slika 4,



Slika 4. Sistem nepokretnih lestvi sa random platformom i zaštitom od pada

- lestve sa dva uspravna stuba – to su lestve sa prečkama između, koje su fiksirane sa dva uspravna stuba, slika 5.



Slika 5. Lestve sa dva uspravna stuba

- lestve sa jednim uspravnim stubom – to su lestve kod kojih su prečke postavljene sa obe strane uspravnog stuba, slika 6.



Slika 6. Lestve na jednom uspravnom stubu

Lestve se uglavnom projektuju sa dva uspravna stuba. U izuzetnim slučajevima, kao što je nedostatak radnog prostora, lestve se projektuju sa jednim uspravnim stubom, koji bi svakako zbog bezbednosti trebao da ima zaštitnu ogradu.

Sistem lestava mora biti tako projektovan da same lestve i njena pričvršćenja izdrže razumne i predviđene statičke i dinamičke uslove.

Osnovni kriterijumi su težina samih lestava, maksimalan broj ljudi koji se zadržavaju u sistemu lestava, kao i dodatne radnje koje se dešavaju kada se uređaj za zaustavljanje aktivira.

Pri projektovanju lestava treba da se uzme permanentno opterećenje (mrtvo opterećenje), odnosno masu svake komponente lestava kao i promenljivo (najveće) opterećenje $F_1=1,5$ kN.

Pri projektovanju lestava treba odabrati i odgovarajući vid zaštite od pada.

Uređaji za zaštitu od pada su:

- sigurnosni kavez – predstavlja stvarni nivo sigurnosti, jer je nezavisan od akcije korisnika,
- uređaj za zaustavljanje pada – uređaj koji je direktno zavisao od akcije korisnika, odnosno korisnik sam odlučuje da li će ga aktivirati.

6. IDEJNO REŠENJE ZA PRISTUP PUMPNOJ POSTROJENJU

Na slici 7, nalazi se idejno rešenje za pristup pumpnom postrojenju. Prilikom projektovanja preduzete su mere bezbednosti na osnovu standarda [3] i [4].

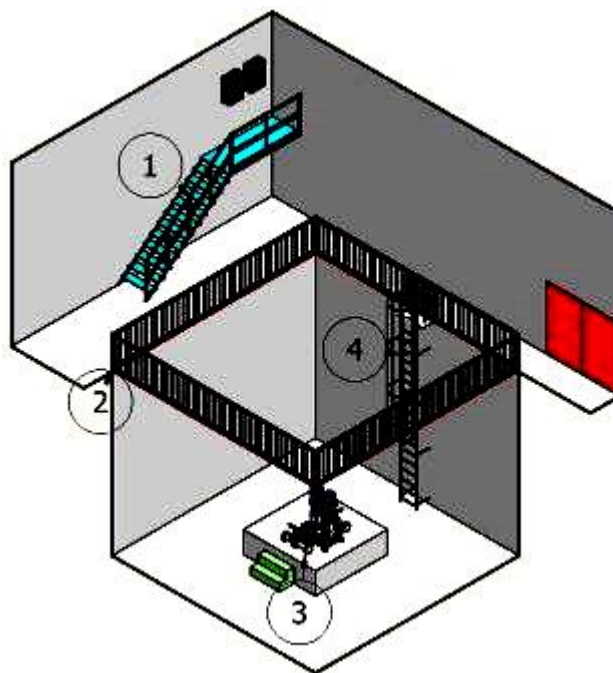
Izabrane mere zaštite: zaštitne ograde, leđobran.

Vidovi pristupa: stepenice, lestve sa prečkama kvadratnog poprečnog preseka.

Dimenzije postrojenja su 12m x 9m x 5m (D x Š x V), sa jamskim udubljenjem na -5,5m.

Zarad preciznijeg objašnjenja postrojenje je podeljeno u 4 oblasti:

- 1 – sistem merdevina sa random platformom za pristup kontrolnoj tabli,
- 2 – zaštitna ograda oko jame,
- 3 – stepenište za pristup betonskoj bazi na kojoj su smeštene pumpe,
- 4 – fiksne merdevine sa leđobranom, kao sredstvo pristupa između dva nivoa.

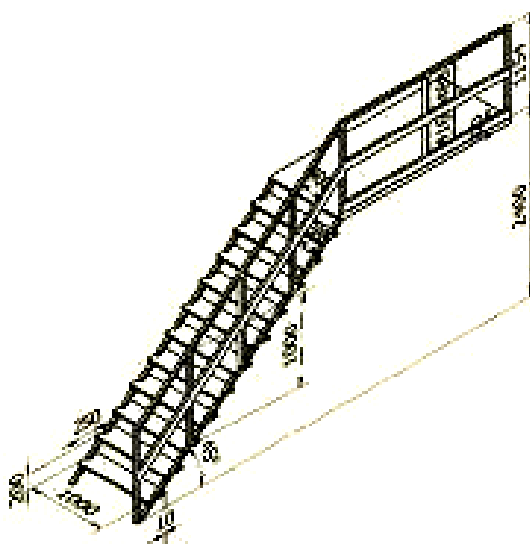


Slika 7. Model pumpnog postrojenja

Kako bi se pristupilo kontrolnim kutijama izabran je sistem merdevina sa random platformom ukupne visine 2,4 m. U ovom slučaju visina potencijalnog pada premašuje 500 mm, pa se zahteva postavljanje rukohvat i zaštitne ograde, čime se rizik smanjuje.

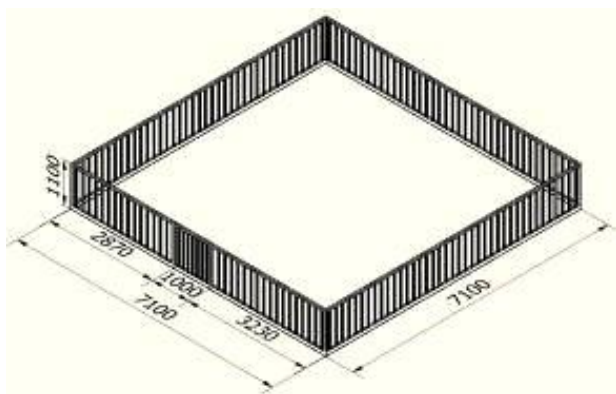
Visina zaštitne ograde u nivou radne platforme je 1154 mm, dok je zaštita za koleno postavljena na 416 mm u odnosu na zaštitu za stopala, odnosno na 488 mm u odnosu na rukohvat.

Visina zaštite za prste je postavljena na 10mm od gazišta, sa ukupnom visinom od 100 mm, slika 8.



Slika 8. Model sistema merdevina sa radnom platformom

Zaštitna ograda oko jame izvedena je od kutijastih profila 50 mm x 50 mm x 3 mm, ukupnih dimenzija 7,1 m x 7,1 m x 1,1 m, sprečava potencijalan pad u jamu. Na ogradi se nalaze vrata pomoću kojih se pristupa sistemu fiksnih merdevina. Dimenzije vrata su 1 m x 1,1 m i na njima se nalazi automat za sporo zatvaranje vrata, slika 9.



Slika 9. Zaštitna ograda oko jame

Fiksne merdevine sa leđobranom, ukupne visine 5,5 m spajaju dva nivoa. Širina merdevina je 550 mm, svaka prečka se nalazi na visini od 400 mm i izvedena je od kutijatih profila 40 mm x 40 mm x 3mm, prva prečka od poda se nalazi na visini od 100 mm. Merdevine se nalaze na 75 mm udaljenosti od zida za koji su pričvršćene. Leđobran postavljen na merdevine kao vid zaštite od pada, prečnika je 734 mm, dok se vertikalni delovi koji učvršćuju kavez postavljaju na udaljenosti od 300 mm. Donji deo kaveza je postavljena na visinu od 2,3 m, kako bi čovek mogao da otpočne penjanje uz merdevine neometano, slika 10.

Kako bi se olakšao pristup betonskom postrojenju na visinu od 750 mm, na kojem se nalaze pumpe, izabrana su dva stepenika. Zbog male visine, u ovom slučaju, nisu potrebni dodatni vidovi zaštite.



Slika 10. Fiksne merdevine sa leđobranom

7. ZAKLJUČAK

Poštovanje standarda nije obavezno, ali svako odstupanje mora da se dokumentuje i obrazloži.

Standardi su napisani kako bi se eliminisale povrede na radu, odnosno kako bi se smanjile u što većem broju.

Prilikom projektovanja ispoštovani su zahtevi standarda, na taj način je ostvaren bezbedan pristup pumpnom postojanju.

Izborom merdevina sa rukohvatom sprečeno je potencijalno spoticanje, zaštitnom ogradom je sprečen pad u jamu, leđobranom na fiksnim merdevinama je sprečen pad usled proklizavanja.

Samo bezbedno radno okruženje je srećno radno okruženje.

8. LITERATURA

- [1] Šostakov R., Zelić A., Živanić D., Bezbednost i zaštita na radu sa mašinama unutrašnjeg transporta, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2019.
- [2] ISO 14122 – 2
- [3] ISO 14122 – 3
- [4] ISO 14122 – 4
- [5] <https://www.cagsantechnic.com/tr-TR/urunler/endustriyel-tesis-cozumleri/konveyor-ve-uretim-bandi-gecis-platformlari/1953/270153>

Kratka biografija:

Branka Bećanović rođena je u Somboru 1997. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstvo – Metalne konstrukcije, transportni sistemi i logistika odbranila je 2023. godine.

Kontakt: branka.djukic.1997@gmail.com

**ИСТРАЖИВАЊЕ ЕРГОНОМСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗНИХ
ИНСТРУМЕНАТА ПУТНИЧКОГ ВОЗИЛА****RESEARCH OF ERGONOMIC CHARACTERISTICS OF PASSENGER VEHICLE
DISPLAY INSTRUMENTS**

Давор Братић, Драган Ружић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – *Тема овог рада јесте истраживање ергономских карактеристика показних инструмената моторних возила, с циљем утврђивања који начин приказа даје најбоље резултате по питању тачности и времена потребног за читавање. Истраживање је реализовано уз помоћ 30 активних возача оба пола из различитих старосних група, којима су приказивани примјери постојећих инструмент табли.*

Кључне ријечи: *моторно возило, показни инструменти, вријеме реакције, брзиномјер.*

Abstract – *The topic of this paper is the research of the ergonomic characteristics of a motor vehicle instruments, with the aim of determining which way of displaying gives the best results in terms of accuracy and required reading time. The research involved 30 active drivers of both sexes from different age groups, who were shown various examples of existing dashboard designs.*

Keywords: *motor vehicle, display instruments, reaction time, speedometer.*

1. УВОД

Прва моторизована возила (од 1886. године) нису била опремљена било каквим елементима инструментације, него су возачи током управљања моторним возилом морали инстинктивно да процјењују брзину кретања [1].

Данас, с друге стране, сва моторна возила имају напредне системе инструментације који су резултат развоја различитих грана науке, као и разноликих ергономских рјешења и концепата. С обзиром на то да је стандардизација у овој области још увијек на врло ниском нивоу, поставља се питање који начин приказа заправо омогућава возачу да за што краће вријеме добије довољно тачне информације о читавим параметрима, а да ова активност не угрожава возачеву способност да безбједно управља моторним возилом. С обзиром на све веће присуство дигиталне инструментације у моторним возилима, ова тема је тренутно врло актуелна и још је у фази истраживања. Због тога, већина закључака по питању дизајна је и даље претежно савјетодавног карактера и дата је у виду смјерница и препорука.

НАПОМЕНА:

Овај рад произвео је из мастер рада чији ментор је био др Драган Ружић.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Током вожње, возач (као комплексан систем чула) реагује на различите врсте побуда које долазе од различитих извора (возила, подлоге, других учесника у саобраћају итд.). С обзиром на чула којима возач региструје те побуде, исте се могу подијелити на:

- визуелне побуде,
- звучне (акустичне) побуде и
- додирне (хаптичке) побуде.

Јасно је да је за безбједно управљање моторним возилом чуло вида од пресудног значаја, али је током вожње то чуло уједно и најактивније и најоптерећеније чуло. Поред поменутог, комуникација на релацији возило-возач се у највећој мјери одвија управо посредством овог чула. Због тога је од кључног значаја да показни инструменти у возилу буду такви да су параметри које приказују лако разумљиви и да их је могуће прочитати у што краћем временском року, како би се вријеме током којег је возачев поглед скренут са пута, смањило у што већој мјери.

Како би се ово остварило, нека генерална ергономска упутства налажу да визуелни показни инструменти треба да буду такви да возач потребне информације може да прочита [2]:

- брзо (у трајању кратког погледа),
- уз минималне физичке напоре (окретање главе, помјерање тијела),
- уз минималне менталне напоре (начин приказа у препознатљивом облику),
- без потребе за приоритизацијом доступних информација (приказ само најбитнијих података),
- само кад за тим постоји потреба (без непотребне додатне обраде информација),
- са довољном тачношћу (без обавезне потребе за дубљим разумијевањем рада надзираног система),
- неометано од стране другог система за информисање (нпр. аудиторног),
- без обзира на временске услове (дан, ноћ, изложеност директној сунчевој свјетлости и сл.),
- без обзира на ограничења условљена језичким и културолошким баријерама (универзалност).

Како су горе наведена упутства ипак само савјети, не постоји недвосмислено дефинисан начин како приликом конципирања визуелних инструмената реализовати све наведено (или бар што већи број). Ова

чињеница за послједицу има најразличитије приступе самом конципирању и дизајнирању показних инструмената, тако да се чак и фундаментални елементи визуелних показних инструмената (без обзира на коришћену технологију за сам приказ), разликују од произвођача до произвођача, па чак и од модела до модела истог произвођача.

Тако се на примјер (посматрано у односу на брзиномјер као инструмент са ког се најчешће врши читавање током вожње), различите специфичности дизајна односе на:

- положај брзиномјера у односу на остале показиваче (лијево, десно, централно),
- величина брзиномјера у односу на остале показиваче (мањи, већи, исти),
- начин приказивања брзине кретања (са казаљком и скалом или нумерички),
- почетни положај казаљке брзиномјера (вертикалан, хоризонталан, под неким углом),
- смјер обртања казаљке (у смјеру обртања казаљке на сату или супротно смјеру обртања казаљке на сату),
- боја казаљке у односу на скалу и позадину инструмент табле (контраст),
- преклапање казаљке са бројевима скале,
- скала брзиномјера и обртомјера (интервал подјеле скале брзиномјера, парност бројчаних вриједности скале брзиномјера, ред величине бројчаних вриједности скале обртомјера, положај бројчаних вриједности у односу на скалу, боја скале у односу на позадину инструмент табле).

С обзиром на наведене специфичности, а узимајући у обзир и људе са свим својим комплексним разликама и утицајним факторима, могуће је разумјети зашто не постоје једнозначна правила када је у питању пројектовање и дизајнирање инструмент табле, него су смјернице дате више у виду упутстава, савјета и искустава стечених на основу истраживања и примјера из експлоатације.

3. МЕТОД РАДА

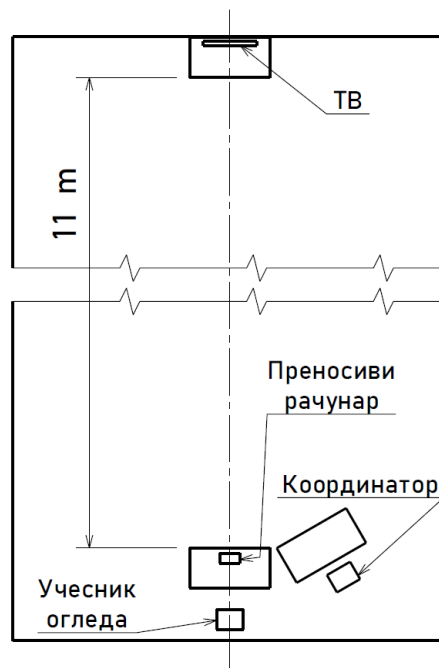
Експериментално истраживање реализовано је у лабораторијским условима у затвореном простору, са увијек истим нивоом освјетљења (вјештачко освјетљење). Оглед је реализован у периоду између 05.06.2023. и 07.07.2023. и то увијек у поподневним часовима (16:00 до 21:00), како би очекивани ниво умора код свих учесника огледа био приближно исти да би се у што већој мјери умањио утицај истог на крајње резултате.

За реализацију експерименталног истраживања коришћена су следећа средства као интегрални дио огледа:

- *Lenovo ThinkPad T590* преносиви рачунар (технологија екрана: *Antiglare FHD IPS Display*, дијагонала екрана: *15,6"*, резолуција екрана: *1920x1080*, технологија микрофона: *Dual far-field microphones*) и
- *Grundig VISION 9 32-9970 T/C* телевизор (технологија екрана: *Active Matirx TFT LCD*,

дијагонала екрана: *32"*, резолуција екрана: *1920x1080*).

Експериментално постројење организовано је на такав начин да је тачно утврђен и фиксиран положај свих елемената који га чине. Постројење само по себи није комплексно, нити се састоји од пуно различитих елемената. На једном крају просторије налазе се сто и столица чије се осе симетрије подударају са подужном осом симетрије просторије у којој се налазе. На том столу, тачно на средини постављен је преносиви рачунар на ком ће се вршити приказ различитих инструмент табли и са ког ће учесници огледа, у сједећем положају, читавати тражене параметре. Такав исти сто (превасходно исте висине) налази се на супротној страни просторије, позициониран на исти начин као и претходни (оса симетрије стола се подудара са подужном осом симетрије просторије). На овом столу, тачно на средини налази се телевизор који ће бити предмет фокуса свих учесника током огледа. Поред првог стола (за којим сједе учесници огледа), налази се сто координатора огледа. Скица експерименталног постројења приказана је на слици 1.



Слика 1. Приказ просторне конфигурације експерименталног постројења

Како би добијени резултати били што мјеродавнији, неопходно је узети у обзир учеснике оба пола из свих старосних група. Према класификацији Агенције за безбедност саобраћаја Републике Србије, старосне групе подијелене су на следећи начин: млади учесници у саобраћају (15 до 30 година старости), учесници у саобраћају средњих година (31 до 64 године старости) и старији учесници у саобраћају (преко 65 година старости). Управо ова подјела послужила је као основ за конципирање огледа као и одабир учесника огледа.

Како је један од услова за учешће у огледу и тај да је учесник огледа активан возач (али не и професионални возач), из практичних разлога је подјела благо

прилагођена, односно сви учесници који имају навршених 60 и више година старости, биће посматрани као старији учесници у саобраћају [3].

У циљу постизања што равномјерније старосне расподеле, учесници су бирани тако да су све три старосне групе заступљене са по десет учесника, односно по пет учесника оба пола у све три старосне групе.

Прије почетка кључног дијела огледа, сви учесници су упознати са током огледа и дати су им одређени савјети и упутства. Наглашено је да не постоје тачни и нетачни одговори, те да се сви њихови могући одговори третирају као валидни и релевантни за њих. Такође, напоменуто је да циљ није да се одговори дају екстремно брзо (на уштрб тачности), нити превише споро (што би било одступање од реалних услова вожње гдје возачи само на тренутак скрећу поглед са пута како би прочитали вриједности са одређених инструмената). Напротив, учесницима је савјетовано да се (колико је то год могуће у лабораторијским условима) понашају као да су активни учесници у саобраћају у улози возача моторног возила који у једном тренутку мора да ишчита задату вриједност са инструмент табле која се налази испод тачке фокуса (замишљеног пута). Напоменуто је и да ће инструмент табле бити приказан док год учесници не дају одговор.

Како би се у мјерењу времена потребног за читавање тражене величине у обзир узела и адаптација жижне даљине са замишљеног пута (телевизор), на инструмент таблу у непосредној близини (рачунар), на телевизору су приказиване просте математичке једначине (сабирање и одузимање два броја до 10) које су исписане бијелим словима (Bahnschrift) величине 44 на црној позадини. Приказиване једначине на телевизору су заправо примарни фокус свих учесника огледа и исти ће преко 90% времена трајања огледа провести управо гледајући у телевизор, који је у овом случају симулација жижне даљине која се у реалним условима вожње налази на путу испред возила. Саме једначине (рјешења) су заправо само средство валидације да је поглед учесника заиста усмјерен ка телевизору и да им је фокус (жижна даљина) на растојању већем од растојања на које ће морати да се адаптирају приликом читавања тражених вриједности са инструмент табли приказаних на преносивом рачунару.

Учесницима је наглашено да ће одговор на свако питање увијек бити неки број, та да се двије трећине питања односе на читавање брзине кретања возила. Преостала трећина питања односи се на читавање броја обртаја мотора, нивоа горива у резервоару и радне температуре мотора.

Учесници су затим упознати са карактеристичним циклусом огледа који се састоји од четири корака:

- 1) када је координатор огледа сигуран да је поглед учесника усмјерен ка телевизору, координатор поставља питање: „Који је резултат једначине?“ и ако добије тачан одговор, прелази на следећи

корак. Ако то ипак није случај, чека на приказ следеће једначине и понавља питање;

- 2) док је поглед учесника и даље усмјерен ка телевизору, координатор чита питање у ком је изражено коју величину је потребно прочитати са инструмент табле која ће се након звучног сигнала појавити на преносивом рачунару (у тренутку читања питања, екран рачунара је црн);
- 3) слиједи звучни сигнал (који је знак да учесник први пут у току циклуса може да скрене поглед са телевизора) и вербални одговор учесника на претходно постављено питање (други корак);
- 4) након изговореног одговора, инструмент табле нестаје са екрана преносивог рачунара (црн екран) и поглед учесника се поново усмјерава ка телевизору.

Након свега поменутог, а прије самог огледа, учесницима су (у виду демонстрације огледа) приказане све инструмент табле које ће бити дио кључног дијела огледа. Све инструмент табле приказиване у овој фази биле су у „нултом положају“ (казалке на минималним – почетним вриједностима и сви контролни индикатори – лампице активирани). Том приликом су учесници огледа имали прилику и да у неколико наврата испробају пар узастопних циклуса са овим таблама, како би се привикли на редослијед корака и задатке који се од њих очекују. Учесници су обавијештени да кључни дио огледа траје краће од десет минута. Поглед из позиције учесника огледа приказан је на слици 2.



Слика 2. Поглед на телевизор и преносиви рачунар са позиције учесника огледа

Одмах након описаног огледа, истраживање је настављено са истим учесницима у облику који је више анкетног карактера. У овом дјелу огледа на сто испред учесника огледа поређани су папири А4 формата на ком су одштампане исте инструмент табле које су коришћене током демонстрације огледа у претходном дијелу огледа.



Слика 3. Приказ учесника огледа приликом субјективног оцјењивања инструмент табли

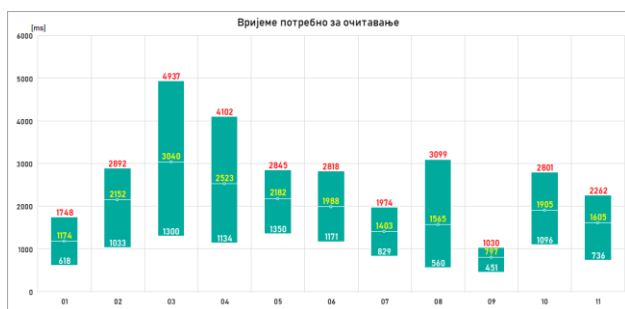
Од учесника је захтијевано да прво одаберу „најгору“ инструмент таблу, а затим да системом елиминације

избор сведу на три „најбоље“ и затим и рангирају преостале три табле. Приликом упознавања учесника са овим дјелом огледа наглашено је да не постоје никакви објективни критеријуми за оцјењивање, те да оцјењивање врше по личном нахођењу. Учесници су избор најгоре и три најбоље оцјењене инструмент табле морали да образложе у пар реченица (слика 3).

4. РЕЗУЛТАТИ

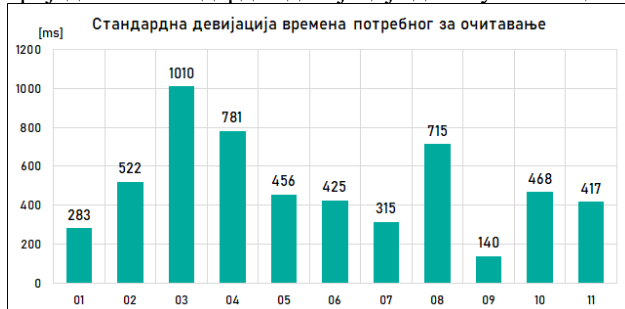
Како је раније већ поменуто, предмет истраживања има три утицајна аспекта: дизајн инструмент табле, узраст (број навршених година) и пол. Утицај ових аспеката анализиран је кроз вријеме потребно за читавање (што краће, то боље) и прецизност читавања (што мање одступање у односу на приказану вриједност). Вријеме потребно за читавање мјерено је од почетног тренутка звучног сигнала, до почетног тренутка одговора учесника. За потребе мјерења коришћен је бесплатан програм *Audacity*, помоћу ког је вршено иницијално снимање огледа. Због ограниченог простора, у овом раду биће приказани само резултати са аспекта дизајна инструмент табле.

Ако се у обзир узимају прве три четвртине валидних резултата свих учесника (ради елиминације екстрема), евидентно је да постоји разлика у времену потребном за читавање која је условљена дизајном (посматрано за цјелокупну популацију учесника огледа) – слика 4.



Слика 4. Потребно време за читавање (за свих 11 инструмент табле)

Када је пак у питању стандардна девијација као апсолутна мјера одступања која указује колико елементи неког узорка одступају од аритметичке средине, исту можемо посматрати као мјеру складности дизајна инструмент табле. Овај показатељ може послужити као мјера колико је одређени дизајн универзално разумљив (без обзира на узраст и пол), а вриједности стандардне девијације дате су на слици 5.



Слика 5. Графички приказ стандардне девијације

На сличан начин може се оцјенити и прецизност читавања гдје просјечно одступање и стандардну девијацију треба посматрати заједно како би било могуће

донијети закључак о генералном квалитету дизајна и прилагођености специфичној групи – слика 6.



Слика 6. Графички приказ просјечног одступања и стандардне девијације прецизности читавања

5. ЗАКЉУЧАК

Узимајући у обзир све добијене резултате, показни инструменти са дигиталним нумеричким приказом су имали очекивано најбоље резултате и по питању времена потребног за читавање и по питању прецизности, али само они код којих је приказ брзине заузимао централно мјесто (у односу на ширину и висину цијеле табле). Инструмент табле код којих дигитални нумерички приказ није био у центру, чак су имале највећи број погрешних читавања (брзина кретања није прочитана са брзиномјера), као и аналогне инструмент табле код којих је ред величине бројчаних вриједности обртомјера изражен у десетицама (исто као и код брзиномјера). Код аналогних показних инструмената се као најбоље рјешење боје казальке и скале показала комбинација казальке упечатљиве боје (црвена) и скале бијеле боје на тамној позадини (црна или тамно сива). Префериран интервал подјеле скале брзиномјера је 20.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Knoll P.: Some pictures of the history of automotive instrumentation, Journal of the SID 25/1, 2017.
- [2] Bhise V. D.: Ergonomics in the automotive design process, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2012.
- [3] ***, Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2018. godini, Agencija za bezbednost saobraćaja Rep. Srbija, Beograd 2019.

Кратка биографија:



Давор Братић рођен је у Штутгарту 1993. год. Дипломски рад из области динамике кретања моторних возила одбранио је 2018. год. на Факултету техничких наука. Од 2020. године запослен је у аутомобилској индустрији.



Драган Ружић (1973) докторирао је на Факултету техничких наука из области ергономије у моторним возилима 2013. год. Запослен је на Факултету техничких наука од 2000. год., а од 2018. год. је у звању ванредног професора на Катедри за моторе и возила.

УТИЦАЈ ДЕЗАКСИЈАЛНОСТИ КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА НА ВРЕДНОСТ НОРМАЛНЕ СИЛЕ

INFLUENCE OF DISAXIALITY OF THE PISTON MECHANISM ON THE VALUE OF THE NORMAL FORCE

Данило Брдар, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Тема овог рада јесте утицај дезаксијалности клипног механизма на вредност нормалне силе. У овом истраживању дате су опште дефиниције и подела мотора СУС и клипних механизма. Описано је које силе делују на клипни механизам. Приказано је моделовање клипног механизма у софтверу Adams View. Приказане су вредности нормалне силе добијене симулацијом рада аксијалног и дезаксијалног клипног механизма.

Кључне речи: Мотор СУС, клипни механизам, аксијалност, дезаксијалност, нормална сила

Abstract – The topic of this paper is the influence of the disaxiality of the piston mechanism on the value of the normal force. In this research, general definitions and classifications of combustion engines and piston mechanisms are given. It is described which forces act on the piston mechanism. Modeling of piston mechanism in Adams View software is shown. The normal force values obtained by simulating the operation of the axial and disaxial piston mechanism are presented.

Keywords: Combustion engine, piston mechanism, axiality, disaxiality, normal force

1. УВОД

Мотор СУС представља машину која претвара хемијску енергију садржану у гориву у механичку енергију, тј. механички рад. Они налазе широку примену у саобраћају (друмски, железнички, водни, ваздушни), пољопривредној механизацији, грађевинској механизацији, индустрији, војној индустрији, енергетици за погон мањих електро станица, цевном транспорту за погон пумпи.

Мотори СУС могу се поделити на два типа: клипни мотор (ширењем гаса у радном простору савлађује спољашњи отпор и на тај начин део потенцијалне енергије претвара у механички рад) и турбински и млазни мотори (ширењем гаса у млазницама савлађују спољашњи отпор, користећи кинетичку енергију гаса и принцип акције и реакције гасне струје). Клипни мотори могу бити са транслаторно-осцилаторним клипним механизмом и са ротационим клипним механизмом.

НАПОМЕНА:

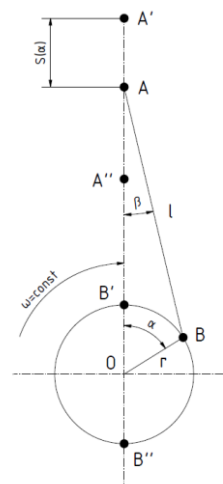
Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Небојша Николић, ванр. проф.

Транслаторно-осцилаторни клипни механизам, у зависности од тога да ли се оса цилиндра сече са осом коленастог вратила, може бити аксијални (уколико се осе секу) и дезаксијални (уколико се осе не секу).

2. КЛИПНИ МЕХАНИЗМИ

2.1. Аксијални клипни механизам

Аксијални клипни механизам, приказан на Сл. 1, је онај код кога се оса цилиндра и оса коленастог вратила налазе у истој равни.



Сл. 1. Аксијални клипни механизам

Пређени пут клипа аксијалног клипног механизма је:

$$S(\alpha) = r \cdot \left((1 - \cos(\alpha)) + \frac{\lambda_k}{4} \cdot (1 - \cos(2\alpha)) \right) \quad (1)$$

Брзина клипа аксијалног клипног механизма је:

$$v(\alpha) = \omega \cdot r \cdot \left(\sin(\alpha) + \frac{\lambda_k}{2} \cdot \sin(2\alpha) \right) \quad (2)$$

Убрзање клипа аксијалног клипног механизма је:

$$a(\alpha) = \omega^2 \cdot r \cdot (\cos(\alpha) + \lambda_k \cdot \cos(2\alpha)) \quad (3)$$

Где су:

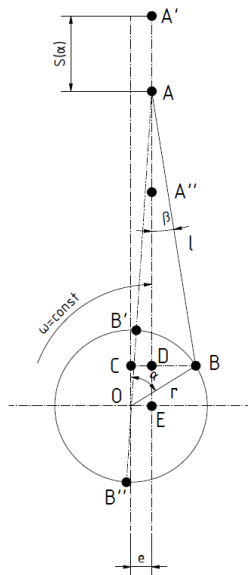
- r [m] полупречник коленастог вратила,
- ω [s⁻¹] угаона брзина обртања коленастог вратила,
- α [°] угао обртања коленастог вратила,
- β [°] угао отклон клипаче,
- λ_k кинематички фактор клипног механизма

2.2. Дезаксијални клипни механизам

Дезаксијални клипни механизам може се добити на два начина:

- Дезаксирањем осе цилиндра у односу на осу коленастог вратила (осе цилиндра и коленастог вратила се не налазе у истој равни)
- Дезаксирањем осе осовинице клипа у односу на осу цилиндра (осе осовинице клипа и цилиндра се не налазе у истој равни)

Дезаксирање клипног механизма врши се углавном у смеру обртања коленастог вратила за вредност e , која се назива ексцентрицитет (Сл. 2). Дезаксирањем се смањује вредност нормалне силе (сила којом клип делује на цилиндар), самим тим и истрошење цилиндра и шум мотора. Дезаксијалност се при дезаксирању осе цилиндра дефинише преко релативног ексцентрицитета који представља однос ексцентрицитета према полупречнику колена: $k = e/r$, који обично има вредност од 0,05 до 0,2 [6]. Код савремених брзоходних мотора већу примену има дезаксирање осе осовинице. Дезаксирање осе осовинице се врши на страну веће вредности нормалне силе за вредност $e = 0.025 \cdot r$ [6].



Сл. 2. Дезаксијални клипни механизам

Пређени пут клипа дезаксијалног механизма је [6]:

$$S(\alpha) = r \cdot \left((1 - \cos(\alpha)) + \frac{\lambda_k}{4} \cdot (1 - \cos(2\alpha)) - k \cdot \lambda_k \cdot \sin(\alpha) \right) \quad (4)$$

Брзина клипа дезаксијалног механизма је [6]:

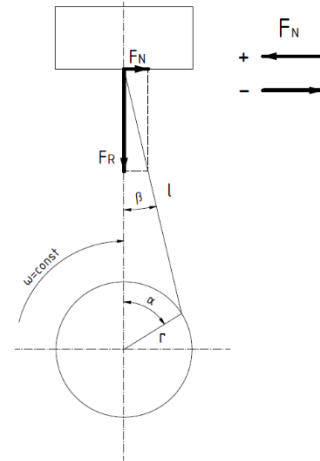
$$v(\alpha) = r \cdot \omega \cdot \left(\sin(\alpha) + \frac{\lambda_k}{2} \cdot \sin(2\alpha) - k \cdot \lambda_k \cdot \cos(\alpha) \right) \quad (5)$$

Убрзање клипа дезаксијалног механизма је [6]:

$$a(\alpha) = r \cdot \omega^2 \cdot \left(\cos(\alpha) + \lambda_k \cdot \cos(2\alpha) + k \cdot \lambda_k \cdot \sin(\alpha) \right) \quad (6)$$

Циљ овог рада је испитивање да ли дезаксијалност клипног механизма и колико утиче на величину нормалне силе којом клип делује на цилиндар, самим

тим и на преформансе мотора, потрошњу горива и загађење животне средине.



Сл. 3. Дејство нормалне силе на клипни механизам

Нормална сила може се израчунати на следећи начин:

$$F_N(\alpha) = F_R(\alpha) \cdot \tan(\beta) \quad (7)$$

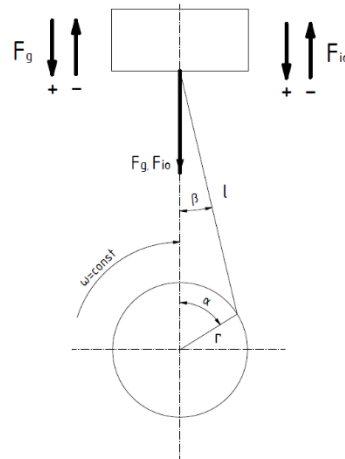
Где су:

$F_N(\alpha)$ [N] нормална сила,

$F_R(\alpha)$ [N] резултујућа сила на клипу,

β [°] угао одклона клипаче

Резултујућа сила на клипу једнака је збиру силе притиска гасова и инерцијалне силе праволинијски-осцилаторних маса, што је приказано на Сл. 4:



Сл. 4. Сила притиска гасова и инерцијалне силе

$$F_R(\alpha) = F_g(\alpha) + F_{io}(\alpha) \quad (8)$$

Где су:

$F_R(\alpha)$ [N] резултујућа сила на клипу,

$F_g(\alpha)$ [N] сила притиска гасова,

$F_{io}(\alpha)$ [N] сила праволинијски-осцилаторних маса

Сила притиска гасова је:

$$F_g(\alpha) = y(\alpha) \cdot u_p \cdot 10^6 \cdot A_k \quad (9)$$

Где су:

$y(\alpha)$ [mm] дужина у $p - V$ дијаграму, која одговара релативном притиску у цилиндру (притиску у односу на притисак околине),

$u_p \left[\frac{\text{MPa}}{\text{mm}^2 \text{кретања}} \right]$ размера за притисак у $p - V$ дијаграму,

A_k [m²] површина чела клипа

Инерцијална сила праволинијски-осцилаторних маса је:

$$F_{io}(\alpha) = -m_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) - m_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda_k \cdot \cos(2\alpha) \quad (10)$$

Где су:

$F_{io}(\alpha)$ [N] инерцијална сила праволинијски-осцилаторних маса,

$$m_o = m_{KG} + m_{KNJo} \quad (11)$$

m_o [kg] маса праволинијски-осцилаторних маса (маса клипне групе – клип, клипни прстенови, осовиница и осигурачи, део масе клипњаче који врши осцилаторно кретање),

m_{KG} [kg] маса клипне групе – клип, клипни прстенови, осовиница и осигурачи,

m_{KNJo} [kg] део масе клипњаче који врши осцилаторно кретање

$$m_{KNJo} = 0.33 \cdot m_{KNJ} \quad (12)$$

m_{KNJ} [kg] маса клипњаче

$a(\alpha) \left[\frac{m}{s^2} \right]$ убрзање нијски-осцилаторних маса,

r [m] полупречник коленастог вратила,

ω [s⁻¹] угаона брзина обртања коленастог вратила,

α [°] угао обртања коленастог вратила

3. МОДЕЛ КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА У СОФТВЕРУ ADAMS VIEW

3.1. О софтверу Adams View

За потребе овог рада и израду модела клипног механизма кориштен је софтвер Adams View. Adams View је један од најпознатијих софтвера за кинематичку и динамичку анализу.

Користи се за проучавање рада различитих механизма, како се они крећу, које силе и оптерећења на њих делују, како су те силе и оптерећења распоређена кроз механичке системе, за побољшање и усавршавање перформанси производа.

Овај софтвер омогућава да се креирају и за веома кратко време тестирају једноставни модели, који могу да замене реалне механизме. На тај начин могуће је смањити време и трошкове производње различитих механизма.

3.2. Формирање модела у софтверу Adams View

За израду модела кориштени су следећи подаци о мотору СУС:

Врста мотора:

Четворотактни ото мотор

Намена:

Погон путничког возила

Ефективна снага мотора:

$$Pe = 51 \text{ [kW]}$$

Број обртаја мотора:

$$n = 4800 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Пречник клипа:

$$D = 83.8 \text{ [mm]}$$

Ход клипа:

$$S = 67 \text{ [mm]}$$

Кинематички фактор клипног механизма:

$$\lambda_k = 0.28$$

Дужина клипњаче:

$$L = 119.7 \text{ [mm]}$$

Полупречник коленастог вратила:

$$r = 33.5 \text{ [mm]}$$

Површина чела клипа:

$$A_k = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0.083^2 \cdot \pi}{4} = 0.005515 \text{ [m}^2\text{]} \quad (13)$$

Маса клипњаче:

$$m_{KNJ} = m'_{KNJ} \cdot A_k = \frac{15 \cdot 55.15}{1000} = 0.827 \text{ [kg]} \quad (14)$$

Где је:

$m'_{KNJ} = 15 \left[\frac{g}{cm^2} \right]$ – специфична маса клипњаче, препорука за ото моторе [6]

Маса клипне групе:

$$m_{KG} = m'_{KG} \cdot A_k = \frac{20 \cdot 55.15}{1000} = 1.103 \text{ [kg]} \quad (15)$$

Где је:

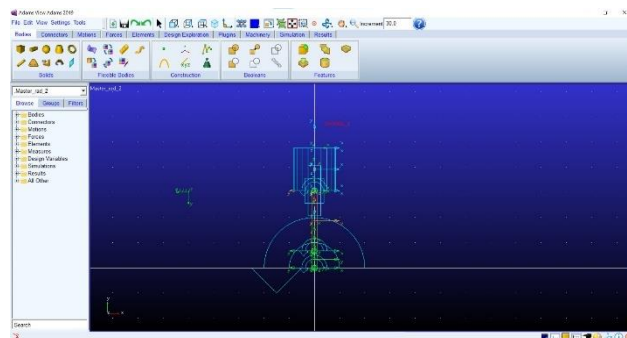
$m'_{KG} = 20 \left[\frac{g}{cm^2} \right]$ – специфична маса клипне групе, препорука за ото моторе [6]

Маса коленастог вратила:

$$m_{KOL} = m'_{KOL} \cdot A_k = 180 \cdot 0.005515 = 0.993 \text{ [kg]} \quad (16)$$

Где је:

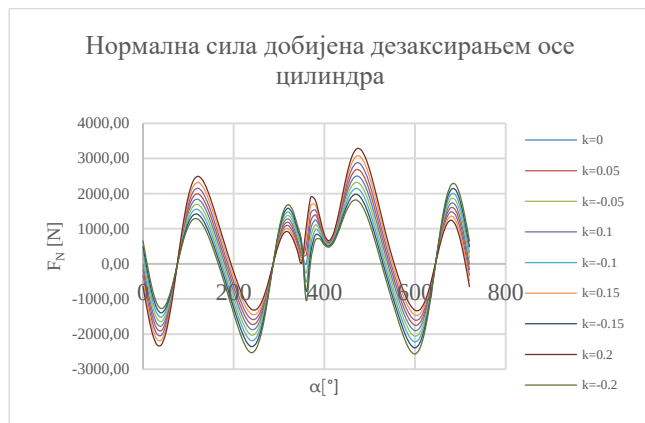
$m'_{KOL} = 180 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$ – специфична маса коленастог вратила, препорука за ото моторе [6]



Сл. 5. Модел клипног механизма у софтверу Adams View

4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈЕ РАДА КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА У СОФТВЕРУ ADAMS VIEW

Након што је модел верификован вршено је варирање вредности ексцентрицитета. Вршено је дезаксирање осе цилиндра у односу на осу коленастог вратила за вредности $k = 0 \div 0.2$ и у смеру обртања коленастог вратила и у смеру супротном од смера обртања коленастог вратила. Дијаграми нормалне силе добијене дезаксирањем, приказане су на *Сл. 6*.



Сл. 6. Нормална сила добијена дезаксирањем осе цилиндра

Са *Сл. 6* види се да се дезаксирањем осе цилиндра у смеру обртања коленастог вратила може смањити вредност нормалне силе, али до одређене вредности ексцентрицитета. У случају овог истраживања за вредности $k = 0 \div -0.15$ вредност нормалне силе се смањује, док се за вредност $k = -0.2$ вредност нормалне силе се повећала. У случају дезаксирања осе цилиндра у смеру супротном од смера обртања коленастог вратила ($k = 0 \div 0.2$) вредност нормалне силе се повећала.

Из овога следи да се вредност нормалне силе може умањити дезаксирањем осе цилиндра у односу на осу коленастог вратила, само уколико се дезаксирање врши у смеру обртања коленастог вратила и само до одређене вредности ексцентрицитета.

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог рада био је испитивање да ли дезаксијалност клипног механизма и колико утиче на величину нормалне силе којом клип делује на цилиндар, а на тај начин и на перформансе (снагу) мотора, смањење потрошње горива и загађење животне средине.

У раду је доказано да се дезаксирањем може умањити вредност нормалне силе. Да би се нормална сила умањила, дезаксирање је потребно вршити у смеру обртања коленастог вратила. Овај рад је показао и да је нормалну силу могуће умањити само до одређене вредности ексцентрицитета, након чега се повећањем ексцентрицитета повећава и вредност нормалне силе. За потребе овог рада направљен је модел клипног механизма у софтверу Adams View. Овим моделом показано је да је могуће вршити анализу сложених механизма помоћу једноставних модела. Предност овог модела је што се може користити и за прорачун и анализу других оптерећења (силе и моменти) која

делују на клипни механизам. Модел је могуће унапредити усложњавањем постојећег клипног механизма.

Ово истраживање могуће је користити за пројектовање нових мотора као и за побољшање постојећих. Пројектовањем мотора који имају дезаксирану осу цилиндра смањује се вредност нормалне силе, а самим тим и истрошење цилиндра и шум мотора.

За дезаксијалне клипне механизме се по свему судећи може очекивати да ће се све чешће користити у моторима СУС, јер је помоћу њих могуће умањити нормалну силу која негативно утиче на рад мотора и на тај начин они утичу на побољшање перформанси мотора СУС, а самим тим смањује се потрошња горива и загађење животне средине.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Harald Maass, Heiner Klier, "Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschine" Springer-Verlag, Wien, New York, 1981
- [2] Richard van Basshuysen, Fred Schäfer, "Internal Combustion Engine handbook: basics, components, systems, and perspectives", Vieweg Verlag, Wiesbaden, Germany, 2002
- [3] Kolchin A., Demidov V., "Design of automotive engines", English translation, Mir Publishers, 1984
- [4] Милољуб В. Томић, Стојан В. Петровић, "Мотори са унутрашњим сагоревањем", Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, Србија, 2008
- [5] Иван Ј. Клинар, "Мотори са унутрашњим сагоревањем" Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија, 2013
- [6] Миодраг Ц. Живковић, "Мотори са унутрашњим сагоревањем други део", Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, Србија, 1990
- [7] Asllan Hajderi, Ledia Bozo, "Impact Of Non Axial Crankshaft Mechanism On The Engines Performance", Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), 2017
- [8] Ivan Grujić, Danijela Miloradović, Nadica Stojanović, "Nonlinear kinematics of engine crank-piston mechanism", The 9th International Symposium KOD 2016, 2016

Kratka biografija:



Данило Брдар рођен је у Зрењанину 1998. год. Дипломирао 2021. год. на Департману за механизацију и конструкционо машинство
контакт: danilobrdar3@gmail.com

PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA ZA MODELIRANJE IZLAZNIH KARAKTERISTIKA PRI OBRADI LASEROM**APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR MODELING OUTPUT CHARACTERISTICS DURING LASER PROCESSING**Jovana Srđić, Borislav Savković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Analiziranje uticaja ulaznih faktora na izlazne veličine (hrapavost i širinu reza), modelovanje optimalne kombinacije faktora u cilju postizanja boljih izlaznih karakteristika kod obrade laserom. Dat je pregled opšte teorije veštačkih neuronskih mreža i njihova konkretna primena. Testiranje i treniranje ulaznih podataka u programu MATLAB, sa ciljem kreiranja veštačke neuronske mreže sposobne da predvidi optimalne režime obrade.

Ključne reči: Obrada laserom, hrapavost, širina reza, modelovanje, neuronske mreže.

Abstract - Analyzing the influence of input factors on output values (roughness and width of cut) modeling the optimal combination of factors in order to achieve better output characteristics during laser processing. An overview of the general theory of artificial neural networks and their concrete application is given. Testing and training input data in the MATLAB program, with the aim of creating an artificial neural network capable of predicting optimal processing modes.

Keywords: Laser Beam Machining, roughness, width of cut, modelling, artificial neural network

1. UVOD

Eksperimentalni deo rada predstavlja jedan deo istraživanja preuzetog iz Diplomskog rada Nikole Vukomanova.

Cilj ovog rada je da se ispita uticaj elemenata režima obrade na izlazne karakteristike pri sečenju fiber laserom TCI cutting Smartline 4020 na materijal X6Cr17. Eksperimentalna ispitivanja realizovana su u firmi „J&J Metalni proizvodi DOO Beočin“. Uslovi pri kojima je realizovan eksperiment odnose se na mašinu alatku, materijal obratka i parametre režima obrade. Uz to su korišćeni i „TOOLCRAFT usb mikroskop od 2Mpix“ i uređaj za merenje hrapavosti „SURFTEST SJ-210“ koji su korišćeni na departmanu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu. Nakon toga u radu su prikazane osnovne karakteristike neuronskih mreža, kao i primena neuronskih mreža u softverskom paketu MATLAB.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Borislav Savković, vanr. prof.

Za kreiranje i obučavanje veštačke neuronske mreže korišćeni su ulazni i izlazni podaci rezanja laserom dobijeni eksperimentalnim putem.

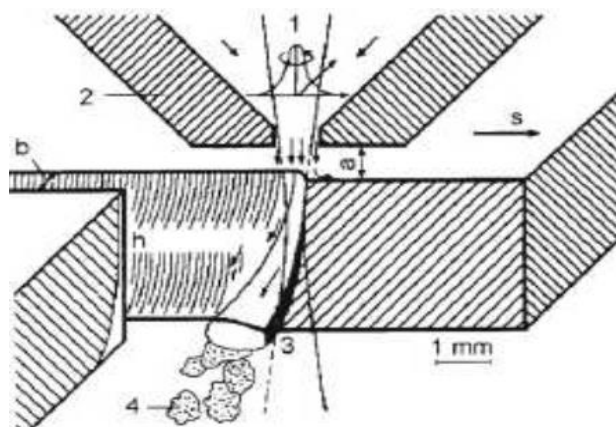
2. OBRADA LASEROM

Obrada laserom (Laser Beam Machining - LBM) se zasniva na primeni koncentrisane fotonske energije, fokusirane na malu površinu materijala obratka, za obradu zagrevanjem, topljenjem, sagorevanjem ili isparavanjem. Zahvaljujući visokoj preciznosti i energetskeim svojstvima koja mogu varirati u širokim granicama, laser je našao široku primenu u skoro svim područjima ljudske delatnosti, a neka su zahvaljujući njegovoj primeni doživela pravi preporod [1].

Osnovne karakteristike rezanja laserom od kojih zavise tehnološke karakteristike obrade:

- snaga impulsa P , W ,
- gustina laserskog snopa q_c , W/cm^2 ,
- pritisak gasa p , bar,
- vrsta gasa,
- veličina fokusne tačke d , mm,
- brzina sečenja V , mm/s,
- tačnost pomeranja laserskog snopa po predviđenoj konturi i dr.

Laserske mašine pored toplote dobijene fokusiranjem snopa laserskih zraka koriste i pomoćni gas koji ima zadatak da odstrani istopljeni materijal iz zone rezanja, da zaštiti sočiva od isparenja i pomogne u procesu sagorevanja. Početak rezanja laserom uslovljen je spajanjem laserskog zračenja sa radnim predmetom. Na slici 1. dat je šematski prikaz procesa rezanja laserom.



Slika 1. Šematski prikaz rezanja laserom [2]

3. INTELIGENTNI SISTEMI I VEŠTAČKA INTELEGENCIJA

Poslednje godine donele su, u okviru burnog razvoja teorije i prakse automatskog upravljanja, saznanje da realizacija fleksibilnijih upravljačkih sistema podrazumeva, pored primene uglavnom algoritamskih pristupa iz domena klasične teorije upravljanja, uključivanje i drugih elemenata, kao što su logika, zaključivanje i heuristika, a takvi sistemi upravljanja poznati su pod nazivom inteligentni sistemi upravljanja.

Motivacija za projektovanje inteligentnih sistema upravljanja jeste potreba da se obezbedi željeno ponašanje i performanse zatvorenog sistema kao i njegov integritet u širokom opsegu radnih uslova, što podrazumeva i podražavanje ljudskih sposobnosti, kao što su planiranje, učenje i adaptacija.

4. NEURONSKE MREŽE

Veštačke neuronske mreže predstavljaju alternativni pristup rešavanju logičkih problema u odnosu na konvencionalne računarske logike. Sama reč „veštačke“ sugerise da je inspiracija za strukturu i logiku rada ovih mreža nastala pokušajem imitacije rada prirodnih neuronskih veza i sistema. Povod za intenzivan razvoj veštačkih neuronskih mreža može se naći u sofisticiranosti rada ljudskog mozga, i stalne želje čoveka da ovako kompleksan i inteligentan sistem kreira i podredi svojim potrebama.

Cilj razvoja veštačke neuronske mreže je pokušaj da se razume i simulira rad ljudskog mozga, u smislu detekcije signala, njegovog prenosa, postupka donošenja odluka i načina pamćenja tj. zaboravljanja. U osnovi, primenom veštačkih neuronskih mreža pokušava se napraviti veštački sistem sposoban da uči i donosi inteligentne odluke kao čovek. Ovo je posebno bitno kada se radi o velikoj količini podataka i kratkom vremenu potrebnom za njegovo procesiranje. Kada se jednom napravi logika rada i nađe adekvatan način za rešavanje problema, svaka naredna mreža se može napraviti vrlo brzo, dok obuka novog biološkog mozga da reši probleme nekog prethodnog (uz skup svih potrebnih znanja) traje godinama [3,4].

4.1 Istorijski razvoj neuronskih mreža

Neuronske mreže se prvi put pominju početkom četrdesetih godina 20-og veka. Najpre su se neurofilozov Veron MekKuloh i logičar Valter Pitsa dotakli ove teme u članku pod nazivom „A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity“ koji je objavljen 1943. godine. Ovaj članak je poslužio kao osnova za dalji razvoj neuronskih mreža i u mnogim istraživačim i naučnim radovima se ovaj rad citirao.

Početkom pedesetih godina Marvin Minski je konstruisao neuroračunar pod nazivom „Snark“. Ovaj računar je mogao da podešava težinske koeficijente, ali nije uspeo da ostvari značajnije rezultate. Frenk Rozenblat i Čarls Vigtmann su 1958. godine razvili računar „Mark“, koji je mnogo bolje funkcionisao u odnosu na „Snark“ računar. Jedan od najzaslužnijih ljudi koji je doprineo populizaciji neuronskih mreža bio je poznati fizičar Džon Hopfield koji je sredinom 80-tih u svome radu ispravio paralelu između neuronskih mreža i određenih fizičkih veličina. Bark

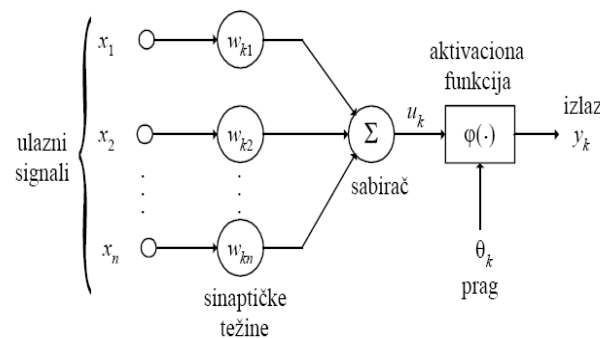
Kosko je u svojoj knjizi „Neural Networks and Fuzzy Systems“ dokazao da neuronske mreže i fazi logiku opisuje isti skup problema.

Početkom devedesetih godina prošlog veka, neuronske mreže su počele da se izučavaju kao predmet na nekoliko prestižnih univerziteta širom SAD. Od tada kreće intenzivan rast i razvoj neuronskih mreža koji ima tendenciju da se nastavi daleko u budućnosti.

4.2 Veštačke neuronske mreže (ANN)

Model veštačkog neurona je analogan modelu prirodnog. Ovakav neuron je osnovna gradivna jedinica veštačke neuronske mreže, odnosno osnovni procesni element. Telo neurona često se naziva čvor ili jedinica. Poput prirodnog, biološkog neurona i veštački ima sinapse – veze između izlaza jednog i ulaza drugog neurona, dendrite (ulazi u neuron) i aksone (izlaz iz neurona) sa kojima se vezuje za druge neurone, kao i prenosnu funkciju kojom se modelira nelinearno ponašanje ove nervne ćelije.

Mreža ovakvih neurona je sposobna da uči, poziva naučeno, vrši pridruživanje, klasifikuje informacije ili stvara nove klasifikacije i upoređuje nove podatke sa već postojećim znanjem.



Slika 2. Model veštačkog neurona [5]

Gde su:

- $x_1...x_n$ – ulazni podaci
- $w_{kj}...n$ – težinski koeficijenti
- ϕ – aktivaciona funkcija
- y – izlazni podatak

Veštačka neuronska mreža može se opisati kao veštačka replika ljudskog mozga kojom se nastoji simulirati postupak učenja. Važno je napomenuti da je analogija s pravim biološkim uzorom kreirana uz mnoga pojednostavljena. Još uvek postoje mnogi fenomeni nervnog sistema koji nisu (uspešno) modelirani veštačkim neuronskim mrežama. S druge strane, postoje i karakteristike veštačkih neuronskih mreža koje se ne slažu s prirodnim neuronskim mrežama. Neuronska mreža je skup međusobno povezanih jednostavnih elemenata, jedinica ili čvorova, čija se funkcionalnost temelji na biološkom neuronu.

Moć analize pohranjena je u snazi veza između pojedinih neurona, tj. težinama do kojih se dolazi postupkom prilagođavanja (učenjem iz skupa podataka).

4.3 Način rada veštačke neuronske mreže

Način rada veštačke neuronske mreže Haykin je opisao nekoliko važnih svojstava veštačkih neuronskih mreža (ANN Artificial Neural Network) [3]:

- ANN mogu biti linearne i nelinearne. Mnoge pojave u prirodi su nelinearne i važne su
- ANN uči tako što stvara relacije između ulaznih i izlaznih podataka.
- ANN ima sposobnost da prilagođava težinske koeficijente sa promenama stanja na mreži
- Svaki neuron u mreži je pobuđen aktivnošću drugih neurona
- ANN ima sposobnost da se samoorganizuje, sačuva i distribuira informacije koje je primila tokom procesa učenja
- Paralelna priroda ANN čini je pogodnom za implementaciju u moderne elektronske komponente (VLSI), i kao takvom vrlo otpornom na greške.

Model veštačke neuronske mreže može se raščlaniti na tri segmenta:

- Arhitektura mreže,
- Aktivaciona funkcija neurona i
- Zakoni učenja

5. REALIZACIJA EKSPERIMENTA

Kao ulaz u eksperiment, posmatrani su sledećih šest faktora pri obradi laserom delova od nerđajućeg čelika X6Cr17 :

- Debljina obratka (mm)
- Brzina sečenja (mm/min)
- Pritisak pomoćnog gasa (Bar)
- Fokus (mm)
- Frekvencija (Hz)
- Snaga (W)

Čelik X6Cr17 (1.4016) je trenutno najkorišćeniji feritni nerđajući čelik na svetu. Ovaj čelik srednjeg sadržaja hroma odgovara industrijskom standardu AISI 430. Sadržaj hroma od 16% daje bolju otpornost na koroziju i ovaj tip čelika se koristi u širokom spektru primena, uglavnom u zatvorenom prostoru [6].

Mehanička svojstva čelika X6Cr17 su:

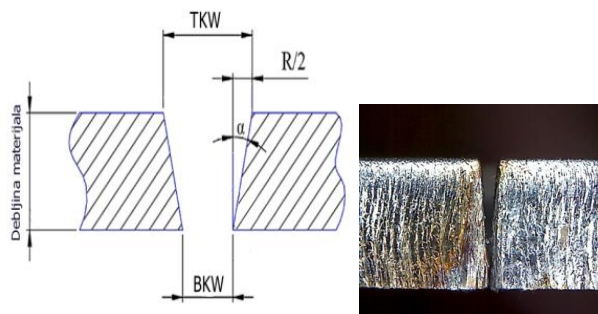
- Zatezna čvrstoća R_m : 400-600 [MPa]
- Napon tečenja $R_{p0.2}$: 240-260 [MPa]
- Minimalno izduženje pri lomu A: 18-20 [%]
- Suženje poprečnog preseka pri lomu Z: 60-63 [%]
- Tvrdooća po Vickersu: 200-300 [HV]
- Tvrdooća po Brinelu: 200 [HB]

Tabela 1. Hemijski sastav nerđajućeg čelika X6Cr17

X6Cr17						
Naziv elementa	C	Si	Mn	P	S	Cr
Procenat udela[%]	max 0.08	max 1	max 1	max 0.04	max 0.015	16-18

Izlazne veličine su hrapavost (R_a , R_z , R_q) i širina reza. Hrapavost obrađene površine je merena pomoću uređaja za merenje hrapavosti Mitutoyo surfest SJ-210 i Tool craft usb mikroskop-a.

Širina reza je jedan od bitnih faktora laserskog sečenja, tako što utiče na same dimenzije obratka i njegovu tačnost i preciznost. Što je širina reza manja obradak će imati tačnije dimenzije. Takođe, što je manja razlika između širine gornjeg reza (TKW) i širine donjeg reza (BKW) obradak će biti pravilniji.



Slika 3. Izgled poprečnog preseka u čeliku dobijen laserskim sečenjem levo teoretski, desno na našem eksperimentu br.13 [7]

Širina gornjeg reza nazivamo merenje sa strane prema laserskoj glavi, dok je širina donjeg reza strana naličija materijala. Pri sečenju i bušenju limova laserom ulazni (gornji) prečnik je veći od izlaznog (donjeg), a krater ima ulazni konus i venac na početku slika 3. Na osnovu izmerenih dimenzija TKW i BKW možemo da izračunamo i ugao zakošenosti (α) pri sečenju koji što je manji to je kvalitet reza veći.

Sva merenja TKW i BKW su rađena tri puta gde se pronalazi srednja vrednost za svaki od njih i onda od srednje vrednosti TKW i BKW se dobija konačni rezultat KW iz formule:

$$KW = \frac{TKW + BKW}{2}$$

Unešene vrednosti za svih 27 tačaka eksperimenta možemo videti u tabeli 2.

Tabela 2. Izmerene vrednosti za BKW, TKW i KW

Red. Br.	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3	Srednja	Merenje 1	Merenje 2	Merenje 3	Srednja	Širina reza
	TKW (gornja širina)	TKW (gornja širina)	TKW (gornja širina)	TKW srednja	BKW (donja širina)	BKW (donja širina)	BKW (donja širina)	BKW srednja	KW
1	0.72	0.76	0.77	0.75	0.31	0.35	0.33	0.33	0.54
2	0.77	0.76	0.76	0.763333	0.34	0.33	0.32	0.33	0.546667
3	0.78	0.79	0.79	0.786667	0.35	0.35	0.35	0.35	0.563333
4	0.61	0.63	0.62	0.62	0.32	0.32	0.34	0.326667	0.473333
5	0.61	0.63	0.62	0.62	0.32	0.34	0.33	0.33	0.475
6	0.64	0.63	0.63	0.633333	0.33	0.34	0.33	0.333333	0.483333
7	0.46	0.47	0.45	0.46	0.35	0.33	0.33	0.336667	0.398333
8	0.45	0.46	0.46	0.456667	0.33	0.34	0.34	0.336667	0.396667
9	0.47	0.48	0.48	0.476667	0.34	0.33	0.34	0.336667	0.406667
10	0.49	0.5	0.5	0.496667	0.43	0.45	0.44	0.44	0.468333
11	0.51	0.51	0.5	0.506667	0.44	0.43	0.42	0.43	0.468333
12	0.47	0.48	0.48	0.476667	0.38	0.41	0.4	0.396667	0.436667
13	0.76	0.77	0.77	0.766667	0.37	0.39	0.38	0.38	0.573333
14	0.78	0.8	0.8	0.793333	0.38	0.39	0.4	0.39	0.591667
15	0.72	0.74	0.73	0.73	0.18	0.23	0.22	0.21	0.47
16	0.63	0.62	0.61	0.62	0.35	0.33	0.33	0.336667	0.478333
17	0.62	0.63	0.63	0.626667	0.37	0.36	0.34	0.356667	0.491667
18	0.59	0.61	0.6	0.6	0.22	0.23	0.2	0.216667	0.408333
19	0.66	0.67	0.67	0.666667	0.45	0.46	0.43	0.446667	0.556667
20	0.63	0.62	0.61	0.62	0.36	0.37	0.38	0.37	0.495
21	0.65	0.66	0.65	0.653333	0.4	0.39	0.41	0.4	0.526667
22	0.48	0.49	0.49	0.486667	0.44	0.34	0.36	0.38	0.433333
23	0.45	0.46	0.46	0.456667	0.45	0.47	0.49	0.47	0.463333
24	0.47	0.48	0.48	0.476667	0.42	0.53	0.47	0.473333	0.475
25	0.76	0.78	0.78	0.773333	0.3	0.28	0.32	0.3	0.536667
26	0.46	0.45	0.47	0.46	0.24	0.25	0.23	0.24	0.35
27	0.7	0.71	0.69	0.7	0.38	0.37	0.39	0.38	0.54

6. REALIZACIJA VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE

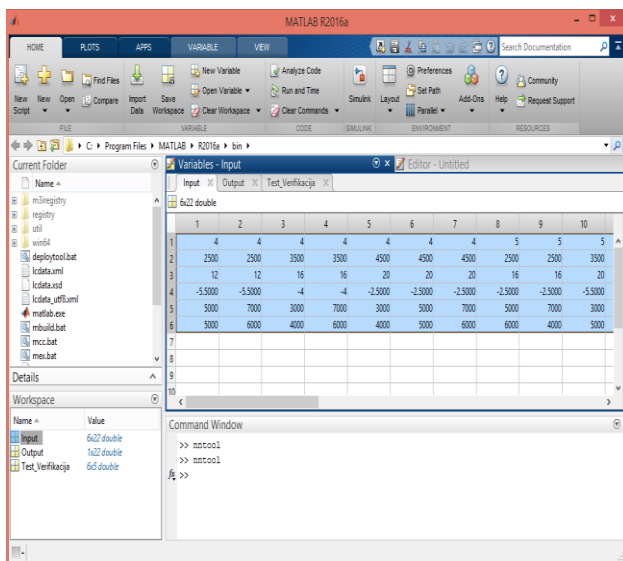
Za realizaciju veštačke neuronske mreže korišten je računarski sistem baziran na matematičkom konceptu matrica – MATLAB. U industriji se ovaj program upotrebljava za istraživanje, razvoj i projektovanje. Standardni MATLAB sadrži alate (funkcije) za rešavanje uobičajenih zadataka. Pored toga, MATLAB sadrži i opcione alate – kompletne specijalizovanih programa za rešavanje specifičnih tipova zadataka. On podržava neke osnovne programske strukture koje dozvoljavaju petlje i uslovne komande sa relacijskim i logičkim operatorima. Sintaksa i korišćenje nekih od ovih struktura su veoma slične strukturama u drugim programskim jezicima kao što je C, BASIC ili FORTRAN. Ove naredbe sa već pomenutim mogu formirati programe ili nove funkcije koje mogu biti dodate MATLAB-u.

Za kreiranje i obuku neuronske mreže u samom MATLAB-u korišćen je Neural Network Toolbox. Neural Network Toolbox podrazumeva sve metode neuronskih mreža i čini dostupnim veliki broj različitih algoritama za učenje. Kao i drugi MATLAB paketi, Neural Network Toolbox preuzima veći deo rutinskog posla tako da korisnik može da se koncentriše na suštinske probleme. NNT daje više mogućnosti za korišćenje MATLAB paketa. Dostupni su alati za kreiranje, vizuelizaciju, realizaciju i simulaciju različitih mreža.

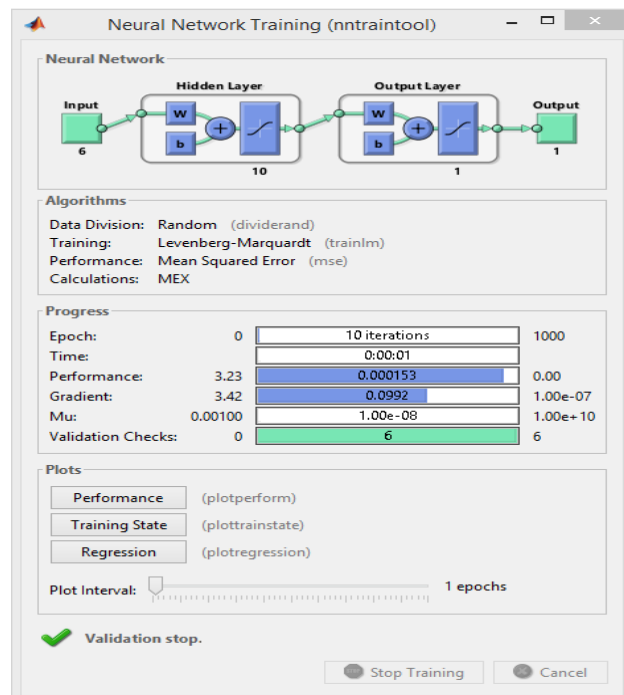
Ulazni podaci za kreiranje veštačke neuronske mreže su:

- Debljina obratka (mm)
- Brzina sečenja (mm/min)
- Pritisak pomoćnog gasa (Bar)
- Fokus (mm)
- Frekvencija (Hz)
- Snaga (W)

Od 27 parametara koji su dobijeni eksperimentalnim putem korišćeno je 22 za obučavanje mreže, a ostalih 5 za test/verifikaciju neuronske mreže. Na slici 4 prikazan je izgled podataka unešenih po tačno određenom matičnom obliku, dok slika 5 prikazuje prozor za kreiranje neuronske mreže.

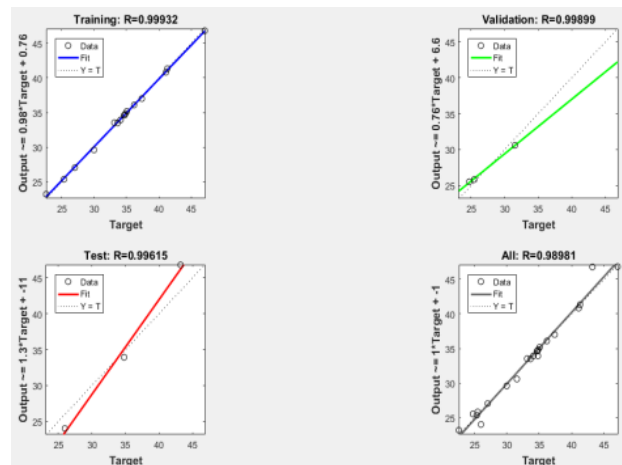


Slika 4. Unos podataka preko komande New Variable



Slika 5. Prozor kreirane neuronske mreže

Rezultati treniranja mreže pokazuju slaganje sa eksperimentalnim vrednostima. U ovom slučaju odstupanja su zadovoljavajuća, što znači da su manja od 10%. Kako bi se dobili što tačniji rezultati vršeno je treniranje mreže više puta i varirano je sa brojem neurona u skrivenom sloju. Na slici 6. prikazani su dijagrami dobijeni prilikom treniranja mreže.



Slika 6. Dijagram istrenirane mreže za izlazne parametre Rz

Na osnovu većeg broja ponavljanja procesa treniranja i dijagrama koji su dobijeni u obučenoj mreži, zaključuje se da nema prevelikih odstupanja, odnosno da je $R \approx 1$. Nakon toga izvršena je simulacija odnosno testiranje mreže.

Rezultati koji su dobijeni simulacijom imali su zadovoljavajuća odstupanja u odnosu na očekivane vrednosti, manja od 10%. Algoritam neuronske mreže dobro je obučen, ali da je za još bolji rezultat potreban veći broj ulaznih podataka. Korišćeno je samo 22 ulazna podataka što je malo za dobijanje potpunog slaganja sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 3. Očekivane i dobijene vrednosti testiranja mreže za Rz

Red. Br.	FAKTORI						Rz (eksperimentalno)	Rz (trenirano)	E [%]
	Debljina	Brzina	Pritisak	Fokus	Frekvencija	Snaga			
1	4	2500	12	-5.5	3000	4000	46.194	42.79681	7.354
5	4	3500	16	-4	5000	5000	25.507	23.27997	8.731
10	5	2500	16	-2.5	3000	5000	34.712	31.58827	8.991
15	5	3500	20	-5.5	7000	4000	22.895	23.77215	3.831
25	6	4500	16	-5.5	3000	6000	28.63	28.18398	1.557

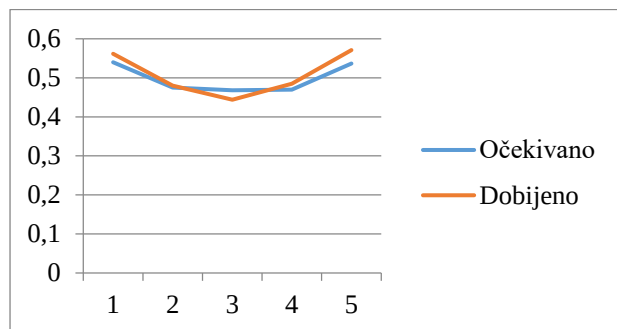
Po istom principu kao što je navedeno u Master radu u poglavljima 9.1 i 9.2 rađeno je obučavanje i treniranje mreže za iste ulazne parametre, ali je u ovom primeru Output odnosno izlaz je širina reza KW.

Tabela 4. Očekivane i dobijene vrednosti testiranja mreže za širinu reza KW

Red. Br.	FAKTORI						KW (eksperimentalno)	KW (trenirano)	E [%]
	Debljina	Brzina	Pritisak	Fokus	Frekvencija	Snaga			
1	4	2500	12	-5.5	3000	4000	0.54	0.561743	4.026
5	4	3500	16	-4	5000	5000	0.475	0.479916	1.034
10	5	2500	16	-2.5	3000	5000	0.468333	0.443922	5.212
15	5	3500	20	-5.5	7000	4000	0.47	0.485166	3.226
25	6	4500	16	-5.5	3000	6000	0.536667	0.571194	6.433

Rezultati testiranja mreže za izlazni parametar KW pokazuju slaganje sa eksperimentalnim vrednostima. Prosek odstupanja dobijenih vrednosti iznosi **3.986%**. Zaključuje se da je mreža pokazala odličnu mogućnost predviđanja.

Grafički prikaz korelacija između očekivanih i dobijenih vrednosti testiranja mreže za parametre širine reza KW prikazan je na slici 7.



Slika 7. Korelacija između očekivanih i dobijenih vrednosti testiranja mreže za parametre širine reza KW

7. ZAKLJUČAK

Zahtevi savremene proizvodnje iziskuju svakodnevni razvoj, a jedan od osnovnih ciljeva je određivanje optimalnih parametara u svim fazama razvoja proizvoda, kako bi se smanjili troškovi obrade i povećao profit.

Računarska inteligencija je osnovni alat veštačke inteligencije koji obuhvata niz metoda i tehnika za koncepciju, projektovanje i korišćenje inteligentnog sistema. Jedan od alata veštačke inteligencije su veštačke neuronske mreže čiji su principi rada prikazani u ovom radu. Na osnovu sprovedenih teorijskih i praktičnih istraživanja, kao i izvršenih analiza može se zaključiti da

su neuronske mreže jedan od neizostavnih alata industrijskog procesa.

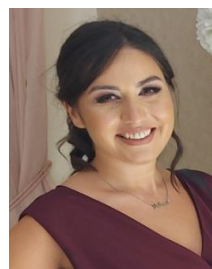
U ovom radu je prikazana opšta teorija o obradi laserom, eksperimentalno ispitivanje parametara obrade, kao i pregled opšte teorije neuronskih mreža i njihova konkretna primena. Takođe, prikazana je primena neuronskih mreža u softverskom paketu MATLAB, gde su korišćeni ulazni i izlazni podaci rezanja laserom dobijeni eksperimentalnim putem za obučavanje i treniranje mreže. Dobijeni rezultati su približni očekivanim vrednostima. Za bolje rezultate neophodno je koristiti veći broj ulaznih informacija, kako bi slaganje sa eksperimentalnim rezultatima bilo bolje.

Veštačke neuronske mreže, kao vid veštačke inteligencije predstavljaju pouzdan sistem za rešavanje pojedinih problema i sve više se koriste u svim industrijskim granama u kojima se pokazuje kao uspešna.

8. LITERATURA

- [1] M. Gostimirović. "Nekonvencionalni postupci obrade." Fakultet tehničkih nauka-Novu Sad. 2012.
- [2] Jakovljević J. (2008) Diplomski rad
- [3]<https://fedorani.ni.ac.rs/fedora/get/o:1144/bdef:Content/get>
- [4] Goran Jovičić Diplomski master rad (2010)
- [5] Nešković Marko Diplomski rad (2017)
- [6] Bešević M., Tešanović A., Kukaras D. (2013) Primena nerđajućih čelika u mašinstvo-proizvodno mašinstvo.
- [7] Vukomanov N. (2023) Diplomski rad

Kratka biografija:



Jovana Srđić rođena je u Zrenjaninu, 1994. godine. Diplomirala na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, oblast Mašinstvo-Proizvodno mašinstvo.

Kontakt: jovanat60@gmail.com



Borisav Savković rođen je u Novom Sadu 1982. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. god., a od 2021 je u zvanju vanrednog profesora na Fakultetu tehničkih nauka. Oblast interesovanja su procesi obrade skidanjem materijala, simulacije kao i ekološko tehnološki sistemi.



ПРИНЦИПСКА НАЧЕЛА И ТЕХНОЛОШКЕ ОСНОВЕ РАДА КОГЕНЕРАТИВНОГ ПОСТРОЈЕЊА ЕЛЕКТРАНЕ НА БИОГАС

THE FUNDAMENTAL PRINCIPLES AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF OPERATING A COGENERATION POWER PLANT USING BIOGAS

Јована Лисица, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА

Кратак садржај – Услед пораста потрошње електричне енергије неопходно је обезбедити континуирано снабдевање потрошача. Обновљиви извори енергије се у последњих неколико деценија истичу као еколошки пожељна решења. Један од облика обновљивих извора електричне енергије је когенерацијско постројење биогазне електране. У овом раду је приказан садржај оваквог постројења са најважнијим елементима, опремом и принципима којим је пожељно водити се током пројектовања оваквог постројења, као и кратак осврт на њихову економску исплативост. Поред овога дат је кратак осврт на начин прикључења ових електрана на дистрибутивну мрежу уважавајући техничке прописе Републике Србије.

Кључне речи: Биогаз, електрана, генератор, когенерација.

Abstract – Due to the increasing demand for electrical energy, it is essential to ensure a continuous supply to consumers. Renewable energy sources have emerged as environmentally desirable solutions in recent decades. One form of renewable electrical energy source is a cogeneration biogas power plant. This work presents the contents of such a plant, including its most important elements, equipment, and the principles to be followed during the design of such a facility, as well as a brief overview of their economic feasibility. Additionally, this text provides a brief overview of how these power plants are connected to the distribution grid, taking into account the technical regulations of the Republic of Serbia.

Keywords: Biogas, power plant, generator, cogeneration.

1. УВОД

Савремено друштво се суочава са двоструким изазовом – како задовољити растућу потребу за енергијом и истовремено смањити негативне утицаје на животну средину. У том контексту, когенерацијско постројење у електранама на биогаз добија значајно место у трансформацији енергетског сектора.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Ђура Орос, ред. проф.

Комбиновањем производње електричне и топлотне енергије, ова иновативна технологија омогућава енергетску ефикасност и смањење емисије гасова стаклене баште. Електрана на биогаз користи биогаз, произведен анаеробном разградњом органског материјала, као гориво за производњу електричне енергије. Ова технологија не само да решава проблем управљања органским отпадом, већ пружа и одрживу алтернативу фосилним горивима, што доприноси смањењу емисије штетних гасова.

Циљ овог рада је да се детаљно истраже електране на биогаз, да се разумеју технички аспекти њиховог рада и њихова улога у постизању одрживости у енергетском сектору. Кроз анализу различитих процеса анаеробне ферментације и претварања биогаза у електричну енергију, размотрићемо техничке иновације и изазове који произилазе из ових постројења.

2. БИОГОРИВА

Биогорива су горива која се добијају из биомасе, било директно из биљака или индиректно из индустријског, комерцијалног, кућног и пољопривредног отпада. Постоје три основна метода за производњу биогорива. Прва генерација биогорива обухвата горива која се састоје од шећера, скроба, биљног уља и животињских масти, и производе се коришћењем конвенционалних технологија. Биогорива друге генерације представљају биогорива која се добијају из одрживих сировина попут целулозног етанола, биометанола, и биоводоничног горива. Трећа генерација биогорива се базира на унапређењу производње биомасе, користећи предности специјалних енергетских култура, као што су алге, које се користе као извор енергије [1].

Биогаз се формира из органске материје путем биолошког процеса без присуства кисеоника, тј. анаеробно. Органску материју разграђују анаеробне бактерије, а као продукт овог процеса настаје биогаз, топлота и остатак ферментације. Овај процес природно се дешава у разним окружењима као што су мочваре, дно мора и океана, јаме за течни стајњак и у бурагу преживара. Биогаз се састоји од више елемената што је представљено табелом 2.1. [2].

Биогаз, сличан природном гасу, има многе разноврсне примене. Његова најзначајнија употреба је конвертовање у електричну и/или топлотну енергију. Производња и складиштење биогаза захтева специфичне услове и технологију, док сама производња може

варирати услед тренутно доступних супстрата попут стајњака или органског отпада.

Састојак	Хемијски састав	Удео у запремини %
Метан	CH_4	50-75
Угљен-диоксид	CO_2	20-45
Водена пара	H_2O	2-7
Кисеоник	O_2	<2
Азот	N_2	<2
Амонијак	NH_3	<1
Водоник	H_2	<1
Водоник-сулфат	H_2S	20-20.000*

Табела 2.1: Састав биогаза [2]

3. ТЕХНОЛОГИЈА ПРОИЗВОДЊЕ БИОГАСА

Процес производње биогаза може се поделити у неколико фаза, које морају да буду усклађене како би процес протекао без проблема, као што је приказано на слици 3.1.



Табела 3.1 Четири фазе настанка биогаза (анаеробна ферментације) [2]

Производња биогаза захтева да се у ферменторима обезбеди стабилност процеса анаеробне ферментације. Оно што стабилност са техничког аспекта подразумева јесте уједначен принос биогаза приближно једнаког састава, док се са биохемијског аспекта подразумева приближно једнак састав и количина производа четири фазе ферментације. Кључни параметри при стварању биогаза су: влага, температура, рН вредност, присуство инхибитора, врста сировине, присуство кисеоника, присуство микроорганизама. Уколико се посматрају хемијски битни параметри који су значајни приликом процеса производње биогаза су садржај органске материје, угљеника и азота, масти и уља, шећера и скроба, минерала и микроелемената, хемијски инхибитори итд. [2].

Приликом одабира одговарајућег супстрата за производњу неопходно је детаљно анализирати њихове карактеристике да би се остварила оптимална производња електричне енергије.

Након одабира супстрата који ће се користити потребно је размотрити начин складиштења, његову припрему као и различите манипулације. Приликом складиштења је потребно размотрити капацитет резервоара у коме ће се складиштити произведени биогаз као и притисак ових резервоара. На слици 3.2 је приказан изглед складишта за биогаз на ниском притиску. [2]



Слика 3.2: Складиштење биогаза на ниском притиску у а) гасној хауби изнад ферментора; б) ваздушном јастуку са заштитном мембраном [2]

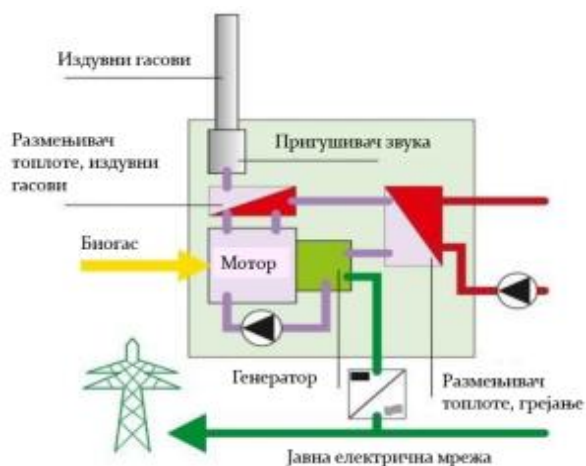
Специјални резервоари који обезбеђују оптималне услове за процес анаеробне ферментације се називају ферментори. Они се морају пројектовати спрам погонских услова и према различитим начинима изградбе. Неопходно је да се ферментор термички споља добро изолује како би се спречио губитак топлоте. Потребна количина топлотне енергије за загревање ферментора обично износи максимално 25% од укупно произведене енергије у биогазном постројењу. Садржај у ферментору је потребно мешати и за ову потребу се најчешће користе механичке мешалице које омогућују активно мешање [2].

4. ТЕХНОЛОГИЈЕ КОРИШЋЕЊА БИОГАСА

Технологије које омогућавају, енергетску трансформацију примарне енергије биогаза су пречишћавање биогаза, коришћење у когенерацији или тригенерацији, као и коришћење у производњи топлотне енергије. Услед постојања подстицајних "feed-in" тарифа за производњу електричне енергије, коришћење биогаза у когенерацији се чини најперспективнијим приступом. Генератор производи електричну енергију, али уместо да се топлота која се ослобађа током тог процеса једноставно отпушта у околину, користи се за различите сврхе, пружање топле воде, производњу паре и слично.

Когенерација, односно комбинована производња топлоте и енергије је поступак у којем се истовремено генерише електрична енергија и користи топлота која се ствара при том процесу. За процес когенерације се користе СУС мотори попут гасних мотора и дизел мотора са иницијалним паљењем. На слици 4.1 приказан је принцип рада когенеративног постројења са СУС мотором.

Са слике 4.1 може се уочити генератор који је спрегнут са мотором. Постојање синхроног генератора је неопходан елемент у биогазном постројењу [3].



Слика 4.1: Шематски приказ когенеративног постројења са СУС мотором [3]

Типови синхроних генератора који се могу користити су синхрони генератори који се користе за погоне мањег производног капацитета док су заступљени и синхрони генератори са побудом иако имају ограничење у регулацији напона и струје. Најзаступљенији су синхрони генератори са побудом јер са својим карактеристикама доприносе бољој регулацији и контроли произведеног напона и струје што је изузетно корисно у погонима где може постојати варијабилност у производњи биогаза [3].

5. ПРИКЉУЧЕЊЕ НА ДИСТРИБУТИВНИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Да би се омогућило прикључење биогазне електране на дистрибутивни систем средњег напонског нивоа морају да се задовоље одређени захтеви који су дефинисани у Правилнику о раду дистрибутивног система и Техничким препорукама Електропривреде Србије [4].

Критеријуми техничких услова који морају бити задовољени за прикључење на дистрибутивну мрежу обухватају: услове потребне да се задовољи максимална дозвољена снага генератора у електрани, дозвољене вредности напона у стационарном режиму, критеријум дозвољеног струјног преоптерећења, снагу кратког споја, фликере, дозвољене струје виших хармоника и интерхармоника.

Прикључење на дистрибутивну мрежу није могуће постићи без неопходне прикључне опреме у виду прекидача, мерног трансформатора, расклопних апарата, одговарајуће мерне и заштитне опреме [5].

Ови критеријуми су углавном исти за Електране са ОИЕ (Обновљиви Извори Енергије) и друге врсте електрана. Међутим, постоје посебни захтеви који се односе на ветроелектране и соларне, када је то потребно.

6. ЕКОНОМСКИ АСПЕКТИ

Биогазна постројења имају предност генерисања прихода на више начина. Може се вршити продаја електричне или топлотне енергије, продаја гаса у виду биогаза или биометана или чак прихода од наканаде за збрињавања ферментационих супстрата.

Расходи који се могу јавити су варијабилне и фиксне природе [6].

У варијабилне расходе спадају трошкови супстрата који могу достићи 60% укупних трошкова. Погонски трошкови су такође варијабилни и у њих улазе трошкови стартног покретања и електричне енергије који се користе за покретање и одржавање процеса. Активни угаљ за пречишћавање такође спада у ове трошкове. Трошкови поправки и одржавање биогазних постројења се процењује између 1% и 3% укупних трошкова а неопходне лабораторијске анализе које се спроводе два пута годишње износе око 150 €.

Фиксни трошкови се односе на инвестицију и трошкове рада. Трошкови инвестиције обухватају амортизацију свих трошкова инвестиције током економског века трајања. У ове трошкове спадају и трошкови осигурања и камате. Трошкови рада су такође фиксни трошкови на унос супстрата и управљања производним постројењем као и одржавање хигијене пословних и канцеларијских објеката [6].

7. ПРИМЕР ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЕЛЕКТРАНЕ НА БИОГАС

Кроз пример стварног постројења разматра се „Електрана на биогаз капацитета 600 kW_e“, која је у власништву предузећа „GREEN ENERGY-ZELENA ENERGIJA“ DOO INDIJA, а налази се у Новим Карловцима на катастарској парцели 2926/2. За дати пример је образложен ток енергије, избор опреме, као и инструментација постројења.

На слици 7.1 приказан је ток енергије једног биогазног постројења.



Слика 7.1: Ток енергије биогазног постројења

Избор потребне опреме врши се спрам следећим параметрима:

- Производња по сату: 265,55 Nm³/h са топлотном снагом од 5,25 kWh/Nm³
- Дневна производња: 6.373,2 Nm³/dan
- Годишња производња биогаза: 2.283.752,0 Nm³/god.

На основу ових захтева производње одабран је JENBACHER гасни мотор са генератором, модел JMC 312, који је приказан на слици 7.2. Реч је о уређају са савременим четворотактним гасним мотором (Otto циклус) високе ефикасности, опремљен са 12 цилиндара распоређених у „V“ конфигурацији. Мотор је водено хлађен, има турбопуњач и двостепени накнадни хладњак који служи за хлађење мешавине гаса и ваздуха пре него што она уђе у мотор.



Слика 7.2: Гасни мотор са генератором

Оваква поставка мора имати систем за предподмазивање који је од кључног значаја приликом одржавања и заштите мотора. Предподмазивањем се обезбеђује подмазивање различитих подручја у мотору где постоји контакт или трење између различитих компоненти са циљем смањења оштећења. Неопходно је да овакав систем има и адекватан систем за хлађење и вентилацију картера мотора који ће допринети бољем хлађењу мотора и смањењу притиска у картеру и обезбедити успешно уклањање топлоте ваздуха са површине мотора. Сви гасни мотори који раде континуирано, што значи више од 7.000 сати годишње, морају бити опремљени аутоматским системом за додавање уља у мотор. Разлог за то је што гасни мотори, за разлику од дизел мотора, имају тенденцију да троше готово двоструко више уља. Контролни систем са мерно-регулационим уређајима за генератор сет и помоћне системе обезбеђује целокупну контролу и регулацију свих аспеката рада генератор сета и помоћних система. Ово укључује контролу снаге, напона, фреквенције и других параметара електричне енергије која се производи. Контролни систем ефикасно прати и реагује на потребе електричне и топлотне енергије.

У пројекту је приказана и пратећа инструментација произвођача *Endress+Hauser* у виду сензора за мерење нивоа течности, сензора надпритиска, хидростатичких мерача.

8. ЗАКЉУЧАК

Производња електричне енергије из обновљивих извора је све заступљенија у свету услед тенденције за смањењем негативних утицаја на животну средину при чему се задовољава растућа потреба потрошача за електричном енергијом. Биогасна електрана се намеће као адекватно решење којим се производи електрична и топлотна енергија док се истовремени забрањују ферментални супстрати.

На светском нивоу је присутан тренд пораста изградње оваких когенеративних постројења при чему је приказан и практичан пример биогасног постројења које је постављено и на нашим просторима. Предности, мане, захтевност производње и дистрибуције енергије као и економски показатељи исплативости који су описани овим радом би требало да омогуће упознавање заинтересованих инвеститора са овом врстом обновљивог извора електричне енергије.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Марија Милићевић, „Биоенергетска горива“, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2014.
- [2] Мартинов М, Ђатков Ђ., „Биогас постројење – упутство за израду претходних студија оправданости са примером за једно биогасно постројење“, Нови Сад, 2012
- [3] Тим Факултета техничких наука са спољним сарадницима. “Студија о процени укупних потенцијала и могућностима производње и коришћења биогаса на територији АП Војводине”. Нови Сад.
- [4] Правила о раду дистрибутивног система – „ЕПС Дистрибуција” ДОО Београд
- [5] Услови за пројектовање и прикључење, „ЕПС Дистрибуција” ДОО Београд, Огранак „Електродистрибуција Нови Сад”
- [6] <https://www.mre.gov.rs/sektori/60/1/0/0>
- [7] Georg M. Guebitz, Alexander Bauer, Guenther Bochmann, Andreas Gronauer, Stefan Weiss, „Biogas Science and Technology“, Springer, 2015.
- [8] Mario Alejandro Rosato „Managin Biogas Plants A Practical Guide”, 2018 by Taylor & Francis Group, LLC

Кратка биографија:



Јована Лисица рођена је 12.10.1995. године у Београду. Детињство проводи у Мркоњић Граду у Босни и Херцеговини где завршава општи смер Гимназије. Основне студије уписује на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер Електроенергетски системи, исти завршава 2022. године након чега уписује мастер студије на усмерењу Енергетска електроника и електричне машине.

Контакт:
jovana95lisica@gmail.com

MATEMATIČKI MODEL KLIMA KOMORE

MATHEMATICAL MODEL OF AN AIR HANDLING UNIT

Nađa Mandić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu detaljno se razmatra matematički model klima komore koji je razvijen kako bi omogućio analizu i istraživanje podataka koji proizilaze iz simulacionog modela same klima komore. Cilj ovog modela jeste pružiti dublje razumevanje ponašanja klima komore i analizu različitih parametara i uslova. Pored toga, rad takođe obuhvata opis teorijskih osnova na kojima se temelji funkcionalnost klima komore. To uključuje objašnjenje svih podsistema koji čine jednu klima komoru, a sve u cilju energetske efikasnosti, s obzirom da su ovakvi sistemi veliki energetske potrošači.

Ključne reči: *Klima komora, Optimizacija, Automatsko upravljanje, Simulacija, Energetska efikasnost, HVAC sistemi*

Abstract – This paper examines a mathematical model of an air handling unit, which is developed for analyzing and investigating data from simulation model of the air handling unit itself. The primary goal of this model is to provide a deeper understanding of the behavior of the air handling unit and to facilitate the analysis of various parameters and conditions. Additionally, the paper also includes a description of the theoretical foundations of the air handling unit. This includes an explanation of all the subsystems that constitute the air handling unit, with a focus on energy efficiency, as these systems are significant energy consumers.

Keywords: Air handling unit, Optimization, Automatic control, Simulation, Energy efficiency, HVAC systems

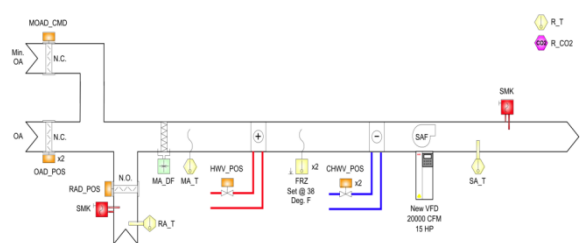
1. UVOD

Klima komore su sistemi koji služe da obezbede ventilaciju zatvorenog prostora, odnosno da opremaju svež vazduh i obezbeđuju njegov kvalitet. U ovom radu, sistem klima komore će biti analiziran i dekomponovan u više celina [1]. Te osnovne celine su: ventilatori svežeg i otpadnog vazduha, rekuperator, filterska sekcija, izmenjivač toplote, izvršni elementi i senzori.

Svaki od ovih elemenata prikazan je na aplikativnoj šemi klima komore, na slici 1. Pored toga, ovaj rad će obuhvatiti i simulaciono rešenje koje je razvijeno u Matlab-u i prikaz i analizu dobijenih podataka iz simulacionog modela. Modelovanjem i simulacijom se približno može opisati dinamika jednog ovakvog sistema.

NAPOMENA:

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



Slika 1 - Aplikativna šema klima komore

2. OSNOVNI ELEMENTI KLIMA KOMORE

Kao što je već istaknuto, ovaj deo rada ima za cilj opis svih ključnih elemenata klima komore, kako bi se olakšala integracija ovih elemenata u matematički model [2]. Dekomponovanjem klima komore na više podсистema olakšava izradu matematičkog modela, kao i nove mogućnosti za analizu, simulaciju i optimizaciju rada klima komore. U matematičkom modelu, biće uvedene oznake koje se nalaze u tabeli 1.

Oznaka	Opis
C_s	Brzina ventilatora
C_q	Maksimalni protok vazduha
C_{do}	Žaluzina spoljašnjeg vazduha
C_{dz}	Žaluzina povratnog vazduha
Q_o	Zapreminski protok svežeg vazduha
Q_z	Zapreminski protok povratnog vazduha
T_o	Temperatura spoljašnjeg vazduha
T_z	Temperatura povratnog vazduha
$\dot{m}_o$	Maseni protok spoljašnjeg vazduha
$\dot{m}_z$	Maseni protok povratnog vazduha
$T_m=T_{ai}$	Temperatura vazduha na ulazu u izmenjivač
Q_{sa}	Zapreminski protok pomešanog vazduha
T_{wi}	Temperatura vode na ulazu u izmenjivač
T_{ao}	Temperatura vazduha na izlazu iz izmenjivača
T_{bm}	Temperatura zida izmenjivača toplote
T_{wo}	Temperatura vode na izlazu izmenjivača
Q_{wi}	Maksimalan zapreminski protok vode u sistemu
C_{vq}	Otvorenost protočnog ventila
Q_{sw}	Zapreminski protok vode na ulazu u izmenjivač
T_{co}	Temperatura vode iz toplotne pumpe
C_{vm}	Otvorenost mešnog ventila
$CO2z$	Količina CO2 povratnog vazduha
$CO2o$	Količina CO2 svežeg vazduha
$CO2out$	Količina CO2 pomešanog vazduha

Tabela 1 - oznake korišćene u matematičkom modelu

2.1. Ventilatori

Ventilatori omogućavaju cirkulaciju vazduha, pa tako u ovom modelu posmatramo ventilator koji doprema svež vazduh u klima komoru i ventilator koji izbacuje vazduh iz klima komore.

Oba ventilatora su matematički [3] predstavljena polinomom 4. reda (1), gde postoji zavisnost brzine tog ventilatora od njegovog zapreminskog protoka.

$$Qc_1C_s^0 + c_2C_s^1 + c_3C_s^2 + c_4C_s^3 + c_5C_s^4 \quad (1)$$

Identifikacijom parametara, dobijeni su koeficijenti c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 :

$$C = \begin{bmatrix} -0.0068 \\ 0.5998 \\ 0.3598 \\ -0.2127 \\ 0.0184 \end{bmatrix}$$

S obzirom na to da na protok vazduha kroz klima komoru ne utiče samo brzina ventilatora, već i otvorenost žaluzina svežeg i povratnog vazduha, kao i maksimalni protok vazduha, zapreminski protok vazduha kroz ventilator računa se po sledećoj formuli:

$$Q_o = Q * C_{do} * C_q \quad (2)$$

$$Q_z = Q * C_{dz} * C_q \quad (3)$$

2.2. Mešna sekcija

Mešanje vazduha podrazumeva fizičko mešanje svežeg i povratnog vazduha [4], gde se u stvari vrši procena da li povratni vazduh ima termički gledano dobre parametre (npr. ima temperaturu ambijenta koja nam odgovara i ona može zagrejati/ohladiti ulazni vazduh), ali i procena njegovog, pre svega, kvaliteta što je najjednostavnije merenjem ugljen-dioksida (CO_2) povratnog vazduha. Količinu ugljen-dioksida pomešanog dobijamo po sledećoj formuli:

$$CO_{2out} = \frac{\dot{m}_o * CO_{2o} + \dot{m}_z * CO_{2z}}{\dot{m}_{sa}} \quad (4)$$

gde $\dot{m}_{sa}$ predstavlja zbir masenih protoka spoljašnjeg i povratnog vazduha:

$$\dot{m}_{sa} = \dot{m}_o + \dot{m}_z \quad (5)$$

Pored količine ugljen-dioksida, koju dobijamo na izlazu iz ovog podsistema, dobijamo i temperaturu pomešanog vazduha, koja se može izračunati na sledeći način:

$$T_m = \frac{\dot{m}_o * T_o + \dot{m}_z * T_z}{\dot{m}_{sa}} \quad (6)$$

$$\dot{m}_o = Q_o * \rho_a \quad (7)$$

$$\dot{m}_z = Q_z * \rho_a \quad (8)$$

Još jedan od izlaza iz ovog podsistema jeste zapreminski protok vazduha i on predstavlja količnik zbira masenih protoka spoljašnjeg i povratnog vazduha i specifične gustine vazduha:

$$Q_{sa} = \frac{\dot{m}_{sa}}{\rho_a} \quad (9)$$

2.3. Ventili

Protočni ventil reguliše protok vode ka izmenjivaču. Na ulaz protočnog ventila dovodimo njegov maksimalni protok $Q_{wi} \left[\frac{m^3}{s} \right]$, kao i procenat otvorenosti ventila $C_{vq}[\%]$, dok na izlazu iz modela takvog podsistema dobijamo zapreminski protok vode koju dovodimo na izmenjivač $Q_{sw} \left[\frac{m^3}{s} \right]$ koji možemo izračunati po sledećoj formuli:

$$Q_{sw} = Q_{wi} * \frac{C_{vq}}{100} \quad (10)$$

Na ulaz mešnog ventila se dovodi temperatura vode iz toplotne pumpe $T_{co} [^{\circ}C]$, temperatura vode na izlazu iz izmenjivača $T_{wo} [^{\circ}C]$ i otvorenost samog mešnog ventila $C_{wm}[\%]$. Izlaz iz modela podsistema mešnog ventila je temperatura vode koja se dovodi na ulaz u izmenjivač toplote. Jednačina modela:

$$T_{wi} = T_{co} * \frac{C_{wm}}{100} + (1 - \frac{C_{wm}}{100}) * T_{wo} \quad (11)$$

2.4. Izmenjivač toplote

Model podsistema izmenjivača ima 4 ulaza:

1. Zapreminski protok pomešanog vazduha $Q_{sa} \left[\frac{m^3}{s} \right]$
2. Zapreminski protok vode $Q_{sw} \left[\frac{m^3}{s} \right]$
3. Temperatura pomešanog vazduha $T_{ai} [^{\circ}C]$
4. Temperatura vode na ulazu u izmenjivač $T_{wi} [^{\circ}C]$

Dok su izlazi iz ovog modela podsistema:

1. Temperatura vazduha na izlazu iz izmenjivača $T_{ao} [^{\circ}C]$
2. Temperatura zida na izlazu iz izmenjivača $T_{bm} [^{\circ}C]$
3. Temperatura vode na izlazu iz izmenjivača $T_{wo} [^{\circ}C]$

Matematički model izmenjivača toplote [3, 4] se opisuje sa tri diferencijalne jednačine, koje su date u nastavku:

$$\frac{dT_{ao}}{dt} = a_1 * Q_{sa} * (T_{ai} - T_{ao}(t)) - a_2 * (T_{am}(t) - T_{bm}(t)) \quad (12)$$

$$\frac{dT_{wo}}{dt} = c_1 * Q_{sw} * (T_{wi} - T_{wo}(t)) - c_2 * (T_{wm}(t) - T_{bm}(t)) \quad (13)$$

$$\frac{dT_{bm}}{dt} = b_1 * (T_{am}(t) - T_{bm}(t)) - b_2 * (T_{bm}(t) - T_{wm}(t)) \quad (14)$$

Ovim jednačinama [5, 6] su redom opisane promene temperatura vazduha, vode i zida izmenjivača, a T_{am} i T_{wm} predstavljaju usrednjene vrednosti ulazne i izlazne temperature vazduha i vode izmenjivača:

$$T_{am}(t) = \frac{T_{ai} - T_{ao}(t)}{2} \quad (15)$$

$$T_{wm}(t) = \frac{T_{wi} - T_{wo}(t)}{2} \quad (16)$$

Preostale konstante iz diferencijalnih jednačina računane su po sledećim formulama:

$$a_1 = \frac{1}{V_a}, \quad a_2 = \frac{\alpha_{ba} * A_{ab}}{\rho_a * c_a * V_a} \quad (17)$$

$$c_1 = \frac{1}{V_w}, \quad c_2 = \frac{\alpha_{wb} * A_{wb}}{\rho_w * c_w * V_w} \quad (18)$$

$$b_1 = \frac{\alpha_{ba} * A_{ab}}{\rho_b * c_b * V_b}, \quad b_2 = \frac{\alpha_{wb} * A_{wb}}{\rho_b * c_b * V_b} \quad (19)$$

Konstante korišćene u jednačinama (17), (18), (19), prikazane su u tabeli 2.

Oznaka	Opis
V_a	Zapremina vazduha u izmenjivaču
V_w	Zapremina vode u izmenjivaču
A_{ab}	Površina izmenjivača između vazduha i zida
A_{wb}	Površina izmenjivača između vode i zida
α_{ba}	Koeficijent prenosa toplote sa zida na vazduh
α_{wb}	Koeficijent prenosa toplote sa vode na zid
ρ_a	Specifična gustina vazduha
ρ_w	Specifična gustina vode
ρ_b	Specifična gustina zida (aluminijum)
c_a	Specifični toplotni kapacitet vazduha
c_w	Specifični toplotni kapacitet vode
c_b	Specifični toplotni kapacitet zida

Tabela 2 - konstante korišćene u proračunu temperatura

4. ALGORITAM RADA KLIMA KOMORE

Klima komore svoj algoritam zasnivaju kontrolom nekoliko procesnih promenljivih, a najčešće su u pitanju

temperatura, kvalitet vazduha, pritisak vazduha u kanalima ili vlažnost vazduha. Prioritetno je da kvalitet vazduha bude zadovoljavajući, odnosno da se prema stepenu zaprljanosti vazduha preduzmu sve mere kako bi u relativno kratkom vremenskom periodu nadomestili kvalitet vazduha, propuštajući veće količine svežeg vazduha. Sledeća po prioritetu upravljanih procesnih promenljivih je temperatura vazduha. Postoje dve referentne tačke prema kojima regulišemo temperaturu vazduha, a zavise pre svega od projektovanog kapaciteta i namene klima komore. U pitanju su:

-Merenje temperature vazduha na potisu, pre eksploatacije vazduha, kada je potrebno distribuirati određenu temperaturu vazduha u prostor.

-Merenje temperature vazduha na odsisu ili u prostoru, odnosno nakon ili tokom eksploatacije vazduha, kada je potrebno distribuirati vazduh potrebne temperature radi postizanja prethodno zadate vrednosti temperature vazduha u prostoru.

Posmatrajući tok kretanja svežeg vazduha od ulaska u klima komoru, prva predaja energije dešava se po prolasku kroz jedan od tipova rekuperatora [7, 8], zatim mešanje sa povratnim vazduhom u delu recirkulacije i prolaskom kroz topli, odnosno hladni razmenjivač čija se energija kontroliše trokrakim ventilima na vodenoj strani prema jednom od gore opisanih metoda.

Kontrola pritiska vazduha u klima komori vrši se odabirom jednog od dva moguća programa, koji zavisi od projektovane namene klima komore: održavanje konstantnog pritiska u kanalu ili održavanje konstantnog protoka u kanalu.

Potrebno je meriti pritisak/protok vazduha u potisnom i odsisnom kanalu kako bismo predefinisali radne tačke koje će odrediti da li će klima komora napraviti podpritisak ili nadpritisak u ventilisanom prostoru. U zavisnosti od zadate vrednosti pritiska ili protoka, brzina obrtanja motora se reguliše PID algoritmom koji generiše upravljački signal frekventnom regulatoru ili direktno EC motorima ventilatora klima komora.

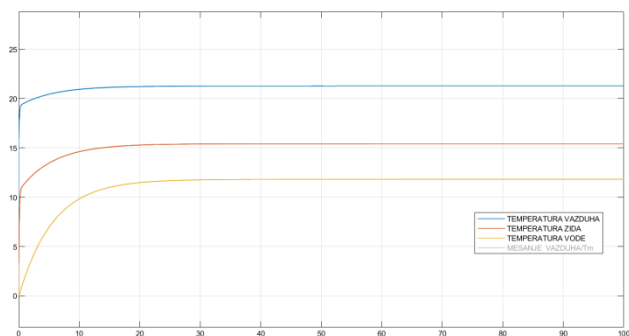
5. REZULTATI SIMULACIJE

Za simulaciju modela (u letnjem režimu) postavljeni su sledeći parametri: zapremina vazduha koja prolazi kroz izmenjivač je $C_q = 5.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Brzina ventilatora iznosi 1200 rpm (eng. rounds per minute).

Žaluzine su međusobno spregnute, pa ukoliko je otvorenost žaluzine povratnog vazduha 20%, otvorenost žaluzine spoljašnjeg vazduha iznosi 80%. Temperatura spoljašnjeg vazduha iznosi 27°C , a temperatura povratnog vazduha iznosi 20°C .

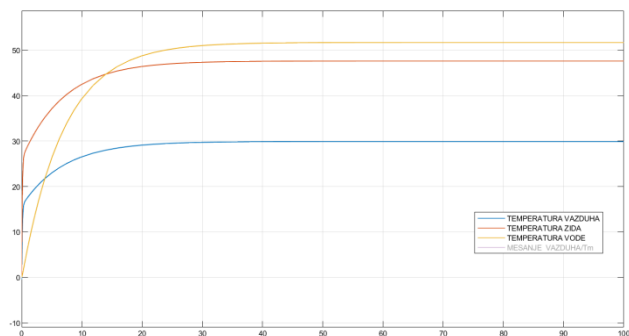
Otvorenost oba ventila je 100%, a temperatura vode iz toplotne pumpe je 7°C , s obzirom na to da radi u režimu hlađenja. Maksimalni protok vode Q_{wi} kod protočnog ventila je $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$.

U ovom slučaju, tj. u režimu hlađenja, hladan medijum je voda, a topao medijum je vazduh, pa u tom slučaju voda je medijum koji biva zagrejan, a vazduh ohlađen. Izlazne temperature iz modela predstavljene su grafički na slici 2.



Slika 2 - Izlazni parametri modela u režimu hlađenja

U zimskom periodu, odnosno u režimu hlađenja, postavljeni su sledeći parametri: zapremina vazduha koja prolazi kroz izmenjivač je $C_q = 3.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Temperatura spoljašnjeg vazduha T_o iznosi $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, dok temperatura vode iz toplotne pumpe iznosi $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Otvorenost oba ventila kao u prvobitnom slučaju je 100%, dok je maksimalni protok vode protočnog ventila $0.00159 \text{ m}^3/\text{s}$. Temperatura povratnog vazduha iznosi $20 \text{ }^\circ\text{C}$, dok je žaluzina spoljašnjeg vazduha otvorena 80%, a žaluzina povratnog 20%. U ovakvom slučaju, medijum koji se zagreva je vazduh, a medijum koji se hladi je voda, s obzirom da ona energiju predaje vazduhu, kako bi se postigla željena temperatura u zimskom periodu. Rezultati simulacije za zimski period prikazani su na slici 3.



Slika 3 - Izlazni parametri modela u režimu grejanja

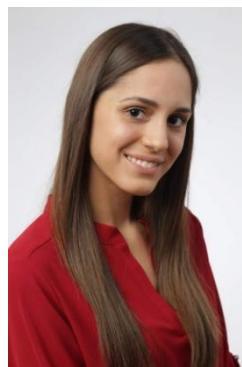
6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja matematički model klima komore i istražuje njegove performanse kroz analizu rezultata pri promeni različitih parametara. Svaki od podsistema je posebno analiziran, kao i izlazni podaci, što je značajno kako bi se uvidela energetska potrošnja ukoliko se neki od parametara sistema promeni. Ovakvi sistemi su veliki energetske potrošači, pa je stoga bitna optimizacija njihovog rada. Razvijeni matematički model omogućava dublje razumevanje kako se sistem ponaša pri promeni parametara, što će pomoći u minimizaciji potrošnje energije. Ova vrsta istraživanja ima potencijal da doprinese efikasnijem korišćenju resursa i smanjenju troškova energije u industriji ili drugim oblastima gde su klima komore ključni sistemi.

7. LITERATURA

- [1] Razban, A., Khatib, A., Goodman, D., Chen, J.: *Modelling of air handling unit subsystem in a commercial building*, Thermal Science and Engineering Progress, 2019, 231-238
- [2] Osman, K.: *Upravljanje Postrojenjem klimatizacije poslovnog objekta*, Magistarski rad, 2011, Zagreb
- [3] Lopes, J., Silva, J., Teixeira, S., Teixeira, J.: *Numerical Modeling and Optimization of an Air Handling Unit*, Energies, 2021.
- [4] Afram, A., Janabi-Sharifi, F.: *Review of modeling methods for HVAC systems*, Applied Thermal Engineering, 2014, 507-519
- [5] Zajic, I., Larkowski, T., Burnham, K.J., Hill, D.: *Temperature Model of an Industrial Air Handling Unit and Manufacturing Zone*, 2012.
- [6] Schito, E.: *Dynamic simulation of an air handling unit and validation through monitoring data*, Energy Procedia 148, 2018, 1206-1213
- [7] Goldanlou, A.S., Kalbasi, R., Afrand, M.: *Energy usage reduction in an air handling unit by incorporating two heat recovery units*, Journal of Building Engineering 32, 2020, 101545
- [8] Sun, L., Li, Y., Jia, H., Ying, Y.: *Research on Fault Detection Method for Air Handling Units System*, IFAC PapersOnLine 52-3, 2019, 79-84

Kratka biografija



Nada Mandić rođena je u Vrbasu 1998. godine. Nakon završene Gimnazije "Žarko Zrenjanin" u Vrbasu, 2017. upisuje osnovne studije elektrotehnike i računarstva na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Računarstvo i automatika, koje završava 2021. godine. Po završetku osnovnih, upisuje master studije na istom fakultetu i smeru.

**PARALELNO PRETRAŽIVANJE GRAFA NA ARHITEKTURAMA SA
DISTRIBUIRANOM I DELJENOM MEMORIJOM****PARALLEL BREADTH-FIRST SEARCH GRAPH TRAVERSAL ON COMPUTER
ARCHITECTURES WITH DISTRIBUTED AND SHARED MEMORY**

Stefan Aleksić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Glavni fokus ovog rada jeste pokušaj unapređenja algoritama pretrage grafova, pogotovo za grafove sa velikim brojem čvorova. Ovaj rad pruža informacije vezane za algoritme paralelne pretrage grafa, na računarskim arhitekturama sa distribuiranom i deljenom memorijom. Svaka od predstavljenih implementacija analizirana je za različite parametre, kako bi se testirale njene performanse. Zaključak samog istraživanja jeste da paralelna pretraga grafa može biti performantna na računarskim arhitekturama sa deljenom memorijom, dok implementacija na arhitekturama sa distribuiranom memorijom jedino ima smisla za grafove koji ne mogu da se smeste u radnoj memoriji jednog procesora.

Ključne reči: pretraživanje grafa, distribuirani sistemi, paralelni sistemi

Abstract – The main focus of this research paper is an attempt to improve upon graph traversal algorithms, especially in the cases of large graphs. This paper provides information about parallel graph traversal algorithms, as well as their implementation on distributed and parallel computer systems. Every type of implementation is analyzed through different parameters to test its achieved performance. The outcome of this research concluded that parallel graph traversal is performant in the case of computer architectures with shared memory, unfortunately only case where it becomes useful for architectures with distributed memory is when graph size becomes too large to fit on one node.

Keywords: graph traversal, distributed systems, parallel systems

1. UVOD

Upotreba apstrakcije uz pomoć grafova za analizu i razumevanje raznih vrsta podataka dobija sve veći značaj. Neki od primera podataka koji mogu da se apstrahuju koristeći grafove podrazumevaju: podatke o interakcijama na društvenim mrežama, podatke bankarskih transakcija, podatke o preporuci raznih reklama korisnicima aplikacija na osnovu njihovih interakcija, komunikacionih podataka poput elektronske pošte i telefonskih mreža, podatke bioloških sistema i različitih oblika relacionih podataka generalno.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Veljko Petrović, docent.

Kada se govori o veštačkoj inteligenciji, apsolutno je neophodno uvesti neku vrstu grafa i primenjivati raznovrsne algoritme nad njim. Zajednički problemi u matematičkoj oblasti teorije grafova i u oblastima primene uključuju identifikaciju i rangiranje važnih entiteta, otkrivanje anomalija u obrascima ili iznenadnih promena u mrežama, pronalaženje čvrsto povezanih klastera entiteta, itd. Rešenja ovih problema obično uključuju klasične algoritme nad grafovima, kao što su: prebacivanje grafa u strukturu stabla (uklanjanje ciklusa), pronalaženje najkraćih putanja, pronalaženje dvopovezanih komponenti, uparivanja, proračune zasnovane na protoku itd.

Kako bi se zadovoljile potrebe teorijske analize grafova za nove aplikacije koje zahtevaju rad sa strukturama velikih skupova podataka, od suštinskog je značaja ubrzati osnovne probleme grafova koristeći aktuelne paralelne sisteme [1].

U ovom radu će se detaljnije razmatrati problem pronalaženja najkraćeg puta, odnosno najmanjeg broja skokova, između dva proizvoljna čvora u povezanom, neusmerenom grafu i to primenom algoritma za pretragu grafa po širini, poznatog kao *breadth-first traversal*. Biće prikazani primeri već postojećih ideja paralelizacije ovog algoritma, kao i implementacija koje se zasnivaju na pomenutim idejama, u okviru arhitektura sa distribuiranom i deljenom memorijom. Takođe, biće dat i prikaz rezultata dobijenih primenjujući ove implementacije na nasumično generisanim grafovima, kao i nad grafovima koji su specifično pogodni za ovu vrstu obrade.

2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Najpoznatiji algoritmi za pretraživanje grafova su algoritam **obilaska grafa po širini** (engl. *breadth-first search*) i algoritam **obilaska grafa po dubini** (engl. *depth-first search*). Ideja ovih algoritama je da pronađu najkraći put od izvornog čvora do proizvoljnog ciljnog čvora u grafu. Od interesa za ovaj rad jeste algoritam **BFS**. Pseudokod višezvornog **BFS** algoritma za obilazak neusmerenog grafa je prikazan u okviru [Pseudokod 1].

Kako bi se podelio posao obrade na entitete u paralelnom okruženju, neophodno je obaviti neku vrstu particionisanja grafa kao celine. Ideja na koji način je moguće izvršiti ovakvo particionisanje je predstavljena u okviru rada [2]. Predloženi algoritam je **BFS** algoritam sinhronizovan po nivoima koji napreduje nivo po nivo, počevši od izvornog čvora, gde je nivo temena definisan kao njegov graf udaljenosti od izvora. **Razmatrani su samo usmereni grafovi.**

Алгоритам Вишеизворни обилазак графа по ширини

Улаз: Граф G , skup izvornih temena S
 Излаз: Листа путања за свако теме P

```

1: procedure multisourceBreadthFirstSearch( $G, S$ )
2:   create queue  $Q$ 
3:   create list  $P$  where  $P[v_i] \leftarrow \emptyset$ 
4:   for all sources  $s$  in  $S$  do
5:     enqueue( $Q, s$ )
6:      $P[s] \leftarrow s$ 
7:   while  $Q$  is not empty do
8:      $w \leftarrow \text{dequeue}(Q)$ 
9:     mark  $w$ 
10:    for all edges  $e$  in adjacentEdges( $G, w$ ) do
11:       $x \leftarrow \text{adjacentVertex}(w, e)$ 
12:      if  $x$  is not marked then
13:         $P[x] \leftarrow \text{append}(x, P[w])$ 
14:        enqueue( $Q, x$ )
    
```

Pseudokod 1 Вишеизворни обилазак neusmerenog grafa po širini

Jednodimenziono partitionisanje grafa podrazumeva raspodelu temena grafa, tako da svaki čvor i svi potezi koji proizilaze iz tog čvora pripadaju samo jednom procesoru. Skup temena koji pripadaju jednom procesoru q će dalje biti nazivan skup *lokalnih temena*. U nastavku je prikazana ilustracija jednodimenzionog partitionisanja temena grafa na P particija korišćenjem matrice susedstva A , koja je podeljena tako da su lokalna temena za neki procesor q kontinualna.

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_P \end{bmatrix}$$

Indeksi podmatrica susedstva A_i predstavljaju indikatore procesora kojima su dodeljene. Potezi koji proizilaze od temena v_j formiraju listu potega, koja je predstavljena listom temena u okviru j -og reda matrice susedstva A . U okviru slike [Pseudokod 2] je dat pseudokod algoritma za distribuirano pretraživanje grafa sa jednodimenzionim partitionisanjem, počevši od čvora v_s . U okviru algoritma, svako teme v_i biva označeno svojim nivoom, u okviru niza $L_{v_s}(v_i)$, što označava rastojanje čvora v_s od čvora v_i . Niz L_{v_s} je distribuiran u skladu sa distribucijom temena, tako da procesor P_i poseduje rastojanja početnog temena v_s do svojih lokalnih temena $\{v_{(i,0)}, v_{(i,1)}, \dots, v_{(i,m)}\}$ gde je $m = \frac{|V|}{|P|}$.

Алгоритам Паралелни BFS са једнодимензионим партиционисањем

Улаз: Граф $G(V, E)$, полазно теме s
 Излаз: Низ d чији елементи представљају број скокова од почетног темена s до темена $v_i \in V$

```

1: procedure bfsDistributedSearch( $G(V, E), s$ )
2:   Initialize  $L_s(v) \leftarrow \begin{cases} \infty, & v \neq s \\ 0, & v = s \end{cases}$ 
3:   for level  $\leftarrow 0$  to  $\infty$  do
4:      $F \leftarrow \{v | L_s(v) = \text{level}\}$ , skup локалних темена за процес са нивоом level
5:     if  $F$  is empty za све процесе then
6:       Терминирај спољашњу петљу свим процесима
7:      $N \leftarrow \{\text{суседна темена из skupa } F \text{ (нису нужно локална темена за тренутни процес)}\}$ 
8:     for all processes  $q$  do
9:        $N_q \leftarrow \{ \text{темена из } N \text{ која припадају процесу } q \}$ 
10:      Send  $N_q$  to process  $q$ 
11:      Receive  $\tilde{N}_q$  from process  $q$ 
12:       $\tilde{N} \leftarrow \cup_q \tilde{N}_q$  ( $\tilde{N}_q$  je могуће да има дубликате)
13:      for  $v \in \tilde{N}$  and  $L_s(v) = \infty$  do
14:         $L_s(v) \leftarrow \text{level} + 1$ 
15:   return  $L_s$ 
    
```

Pseudokod 2: Paralelni BFS algoritam sa jednodimenzionim partitionisanjem

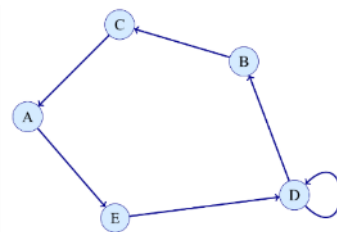
Алгоритам функционише на следећи начин. На сваком nivou (dubine grafa), svaki od procesora ima skup F koji predstavlja skup lokalnih temena koji se nalaze na rastojanju *level* od početnog čvora. Lista potega koja se dobija od svakog od temena iz skupa F biva unifikovana u skup potega N koji predstavlja skup susednih temena. Pojedina temena u okviru skupa N neće biti iz skupa lokalnih temena koji je dodeljen procesoru. Za ova

temena, vrši se razmena sa procesorom q , kome se temena koja njemu pripadaju šalju, a temena koja pripadaju trenutnom procesoru primaju od istog procesora q . Svaki od procesora vrši ovu razmenu temena i formira konačan skup $\tilde{N}$, skup temena do kojih se stiglo u trenutnom nivou, a koji su iz skupa lokalnih temena za trenutni procesor.

3. TEORIJSKE OSNOVE

Graf (engl. *graph*), posmatrano iz ugla diskretne matematike, odnosno preciznije **teorije grafova** (engl. *graph theory*), predstavlja strukturu koja se sastoji od skupa objekata koji među sobom mogu imati specifičnu povezanost, odnosno relaciju. Sami objekti koji se povezuju se nazivaju **temenima** (engl. *vertex*), dok su veze između tih objekata **potezi, odnosno ivice** (engl. *edge*) [3]. Posmatrano iz ugla računarstva, graf predstavlja apstraktnu strukturu podataka koja služi za samo modelovanje grafova iz matematičke oblasti teorije grafova na računaru [4].

Putanja (engl. *path*) predstavlja sekvencu ili niz potega, takvih da se određeno teme i – og potega poklapa sa polaznim čvorom $i + 1$ -og potega [4]. Kod neusmerenih grafova će zbog njihove prirode važiti da ukoliko postoji put od čvora A do čvora B , postojaće i put od čvora B do čvora A , dok kod usmerenih grafova ovo neće biti pravilo. Put u grafu otvara novu taksonomiju u svetu grafova, na **povezane** (engl. *connected*) i **nepovezane** (engl. *disconnected*) grafove. Povezan graf predstavlja strukturu grafa koja je povezana u smislu *topološkog prostora*, odnosno govori da postoji put od proizvoljnog izvornog temena do proizvoljnog određinskog temena. Nasuprot ovome, ukoliko se za graf ne može tvrditi da postoji putanja između dva proizvoljna temena, takav graf je nepovezan [4]. **Najkraći put** (engl. *shortest path*) između dva čvora u grafu, odnosno putanju sa najmanjom kardinalnošću od svih mogućih putanja između dva zadata čvora u grafu [5].



Slika 1: Primer usmerenog grafa

Kada bi se graf sa slike [Slika 1] predstavio matricno, dobila bi se slabo posednuta matrica, te je najpogodniji način predstavljanja grafova koji nemaju veliki broj potega, korišćenjem nazubljenih matrica. U nastavku sledi postupak kako graf sa slike [Slika 1] prevesti u nazubljenu matricu susedstva.

$$A = [a_{ij}]_{n \times n}, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } e_{ij} = (v_i, v_j) \in E \\ 0, & \text{if } e_{ij} = (v_i, v_j) \notin E \end{cases}$$

Sada, ukoliko bi se umesto 1 na odgovarajućoj poziciji u matrici iskoristili identifikator samog čvora ka kome postoji poteg, dobija se matrica koja izgleda ovako.

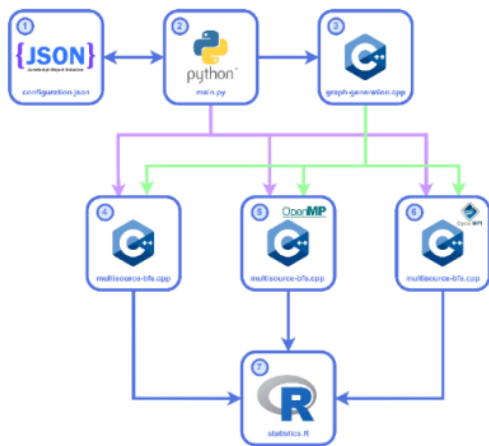
$$A = \begin{bmatrix} & B \\ & C \\ & D \\ & E \\ A & E \end{bmatrix}$$

U okviru implementacije će se upravo koristiti ovakav način reprezentacije, kako bi se posao obrade mogao pravilno rasporediti na entitete za obradu.

4. IMPLEMENTACIJA

Implementacija je u radu realizovana kako za sekvencijalnu obradu koja će biti referentna, tako i za obradu u okviru distribuiranih arhitektura, kao i arhitektura sa deljenom memorijom. Ideja paralelne, odnosno distribuirane obrade je data u okviru [Pseudokod 2]. Implementacija samih algoritama je odrađena u okviru programskog jezika **C++**, dok su za paralelno, odnosno distribuirano programiranje iskorišćeni alati **OpenMP** i **OpenMPI**, respektivno.

Kako bi se mogla testirati obrada različitih implementacija, kreiran je odgovarajući **tok podataka (engl. pipeline)** koji generiše rezultate, vrši obradu i na kraju analizira dobijene rezultate. Ovaj tok podataka je prikazan na slici [Slika 2].



Slika 2: Arhitektura toka podataka

Sam tok podataka teče od (1) **JSON** konfiguracionog fajla u kome su postavljani svi neophodni parametri za pokretanje **Python** skripte (2). Skripta pokreće generisanje nasumičnih, neusmerenih, povezanih grafova (3), a nakon toga svaka od implementacija (4, 5, 6) vrši njihovu obradu. Na kraju, uz pomoć (7) **R** skripti se vrši analiza performansi svake od implementacija. Sama definicija metode koja generiše nasumičan, neusmeren, povezan graf je prikazana na slici [Slika 3].

Što se tiče paralelne implementacije BFS algoritma za arhitekture sa deljenom memorijom, ona je prikazana u okviru slike [Slika 4]. U okviru implementacije se mogu odvojiti regioni od interesa. U okviru linija 46 – 60 se izvršava inicijalizacija svih promenljivih koje se koriste pri obradi i ovaj segment je sekvencijalni deo, odnosno deo koji izvršava glavna master nit. Nakon toga sledi paralelni region u okviru linija 61 – 125, gde se vrši inicijalizacija privatnih promenljivih, a kasnije se otpočine i sama obrada u okviru *while* petlje (linije 83 – 124). Petlja se izvršava sve dok u globalu postoje čvorovi koji nisu obrađeni, a u okviru nje se raspoređuju čvorovi do kojih se trenutno došlo ostalim nitima (linije 85 – 95),

upisuju obrađeni primljeni čvorovi u parcijalne putanje (linije 99 – 111) i na kraju vrši obrada uslova da li se petlja završava (linije 113 – 123).

```

1 void GenerationHandler::generate_graph(map<string, Object> & parameters)
2 {
3     srand(parameters[SEED]);
4
5     long node_number = parameters[NODE_NUMBER];
6     max_degree = parameters[MAX_DEGREE];
7     min_degree = parameters[MIN_DEGREE];
8     available_nodes = parameters[AVAILABLE_NODES];
9     random_choice = parameters[RANDOM_CHOICE];
10    neighbour;
11
12    graph.resize(node_number);
13
14    vector<long> degrees(node_number);
15    vector<long> possibilities(node_number);
16
17    for(long i = 0; i < node_number; i++){
18        degrees[i] = 0;
19        possibilities[i] = 1;
20        graph[i] = 0;
21    }
22
23    available_nodes = node_number;
24    for(long i = 0; i < node_number; i++){
25        long degree = rand() % (max_degree - min_degree) + min_degree;
26        for(long j = 0; j < degree; j++){
27            do
28            {
29                random_choice = rand() % available_nodes;
30                neighbour = possibilities[random_choice];
31            } while(neighbour == i);
32            graph[i].push_back(neighbour);
33            degrees[i]++;
34            graph[neighbour].push_back(i);
35            degrees[neighbour]++;
36        }
37        if(degrees[neighbour] == max_degree)
38            possibilities[random_choice] = possibilities[available_nodes];
39    }
40 }

```

Slika 3: Generisanje grafa

```

44 void ParallelBFSHandler::multisource_bfs(map<string, Object> & parameters)
45 {
46     int thread_number = parameters[THREAD_NUMBER];
47
48     long node_number = parameters[NODE_NUMBER];
49     work_load = node_number / thread_number;
50
51     vector<long> sources = parameters[SOURCES].get_long_array();
52     vector<vector<vector<long>>> next(thread_number);
53
54     paths.resize(node_number);
55     fill(paths.begin(), paths.end(), vector<long>(-1, -1));
56
57     long level = 0;
58     frontiers_global_count = 0;
59
60     #pragma omp parallel num_threads(thread_number) firstprivate(level)
61     {
62         int tid = omp_get_thread_num();
63         long frontiers_count;
64         vector<long> frontiers;
65
66         for(long source : sources)
67         {
68             if(tid == source / work_load)
69             {
70                 paths[source] = { 0, -1 };
71                 frontiers.push_back(source);
72             }
73         }
74
75         #pragma omp master
76         frontiers_global_count = sources.size();
77         next[tid].resize(thread_number);
78
79         #pragma omp barrier
80         while(frontiers_global_count > 0)
81         {
82             for(long current_node : frontiers)
83             {
84                 for(long next_node : graph[current_node])
85                 {
86                     long thread = next_node / work_load;
87                     if(paths[next_node].first == -1)
88                         next[thread].push_back(current_node, next_node);
89                 }
90             }
91
92             #pragma omp barrier
93             frontiers.clear();
94
95             for(long i = 0; i < thread_number; i++)
96             {
97                 for(long next_node : next[tid][i])
98                 {
99                     if(paths[next_node].second == -1)
100                         paths[next_node].second = { level + 1, next_node.first };
101                     frontiers.push_back(next_node.second);
102                 }
103             }
104             next[tid][i].clear();
105         }
106         frontiers_count = frontiers.size();
107
108         #pragma omp single
109         frontiers_global_count += frontiers_count;
110
111         level++;
112     }
113     #pragma omp barrier
114 }

```

Slika 4: Paralelni BFS za arhitekture sa deljenom memorijom

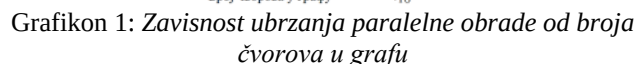
Implementacija algoritma paralelne obrade grafa pomoću **BFS** za arhitekture sa distribuiranom memorijom prikazana na slici [Slika 5]. Ova implementacija je dosta složenija, u odnosu na implementaciju na arhitekturama sa deljenom memorijom, odnosno sekvencijalnu, ali se mogu podeliti slični regioni u kodu. Na linijama 127 – 155 se vrši inicijalizacija promenljivih koje se koriste pri obradi, ovo podrazumeva i sam tip podataka koji se razmenjuje (linije 153 – 155).

Nakon ovoga, na linijama 157 – 227 se nalazi sama *while* petlja, koja se izvršava ponovo sve dok postoji u globalu barem jedan čvor do kog se stiglo do trenutne dubine

Konačno, po izlazu iz same petlje, vrši se prikupljanje svih parcijalnih putanja u jednu i njeno emitovanje (**engl. *broadcast***) svim procesima u kanalu (linije 231 – 239). Ovim se ujedno i okončava distribuirana obrada grafa.

Broj čvorova	Maksimalno ubrzanje	Minimalno ubrzanje	Medijana ubrzanja
100	13.8	0.0186	6.67
1000	30.7	0.422	6.39
10000	34.0	1.03	11.3

Konkretno je od najvećeg značaja bitno gledati medijanu, jer daje najobjektivniju procenu merenja, s obzirom na osetljivost funkcija minimuma i maksimuma, koje su tu kako bi prikazale same ekstreme koji se dešavaju pri obradi. Konkretno za parametar broj čvorova u grafu, pokazalo se da ubrzanje implementacije raste, to jest da je moguće dobiti **prosečno ubrzanje od 1130%**, dok maksimalno moguće ubrzanje, ponovo dostignuto za najveći broj čvorova, 10000, iznosi 3400%. Naravno, postoje slučajevi gde se ovo nije pokazalo toliko izvanredno, pa je bitno napomenuti da može doći i do **usporenja, odnosno ubrzanja od 1.86%**.



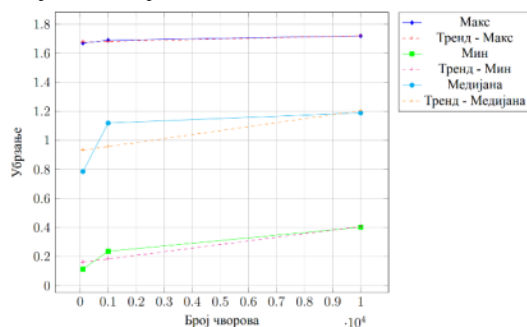
Broj čvorova	Maksimalno ubrzanje	Minimalno ubrzanje	Medijana ubrzanja
100	1.67	0.114	0.786
1000	1.69	0.237	1.12
10000	1.72	0.403	1.19

U okviru tabele [Tabela 2], odnosno grafikona [Grafikon 2] se ponovo može uočiti optimističan rast ubrzanja sa porastom količine posla, odnosno broja čvorova u grafu. Međutim, taj rast je u odnosu na implementaciju na arhitekturama sa deljenom memorijom dosta manji. **Maksi-**

Slika 5: *Paralelni BFS za arhitekture sa distribuiranom memorijom*

Podaci prikazani u okviru [Tabela 1], odnosno ilustrovani na grafikonu [Grafikon 1] predstavljaju zavisnost ubrzanja paralelne obrade na arhitekturama sa deljenom memorijom od ukupnog broja čvorova u grafu. Sam grafikon se sastoji iz tri funkcije: maksimalno dobijeno ubrzanje, medijana ubrzanja i minimalno dobijeno

malna dobijena medijana ubrzanja za distribuiranu implementaciju iznosi 119%. Dobra strana ovoga jeste to što performanse rastu i svakako će u jednom trenutku ubrzanje postati matematički beskonačno, jer neće postojati procesor koji bi sekvencijalno mogao da obradi toliko velike grafove, pa će distribuirano rešenje ujedno postati i jedino za ovakve poslove. No, pri izradi ovog rada, gde nije bilo uslova testiranja ovoga na većem broju računara, rezultati su obeshrabrujući, ali sa poznatim shvatanjem zašto je to tako.



Grafikon 2: Zavisnost ubrzanja distribuirane obrade od broja čvorova u grafu

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu se detaljnije razmotrio problem pronalaženja najkraćeg puta, odnosno najmanjeg broja skokova, između dva čvora u grafu i to primenom algoritma za pretragu grafa po širini, poznatog kao **breadth-first traversal**. Implementirani su algoritmi paralelne verzije ovog algoritma, koristeći sisteme sa distribuiranom i deljenom memorijom. Takođe, dat je i prikaz rezultata dobijenih primenjujući pomenute implementacije na nasumično generisanim grafovima.

Na osnovu analize implementacija, može se zaključiti da je realizacija paralelnog pretraživanja grafa moguća, ali ni pod raznom jednostavna i nikako apsolutna. Ubrzanja do kojih se došlo su tu isključivo jer se radi o veštački sintetizovanim grafovima, kao i činjenica da ta ubrzanja postoje samo za slučajeve visokog stepena povezanosti, odnosno paralelizacije u okviru okruženja koje radi sa deljivom memorijom.

Nažalost, za arhitekture sa distribuiranom memorijom se ne može reći ni to, s obzirom da je najbrže zabeleženo ubrzanje, koje je retko dostignuto, jako malo. Međutim, kao što je već napomenuto, ukoliko se radi o veoma velikim grafovima, koji jednostavno ne mogu stati u radnu memoriju jednog računara, distribuirana obrada je jedino moguće rešenje njihovog procesiranja, s toga je ipak ne treba zanemarivati.

7. LITERATURA

- [1] D. A. Bader, Massive Graph Analytics, CRC Press, 2022.
- [2] A. Yoo, E. Chow, K. Henderson, W. McLendon, U. Catalyurek i B. Hendrickson, A Scalable Distributed Parallel Breadth-First Search Algorithm on BlueGene/L, ACM/IEEE Conference on Supercomputing, 2005.
- [3] W. T. Tutte, Cambridge mathematical library: Graph theory, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [4] K. Mehlhorn, Data structures and algorithms 2, Berlin: Springer, 2011.
- [5] M. Neerajkumar, An efficient algorithm for shortest path tree in dynamic graph, LAP Lambert Academic Publishing, 2014.

Kratka biografija



Stefan Aleksić rođen je u Zaječaru 02. marta 2000. godine. Elektronski fakultet u Nišu, studijski program Elektrotehnika i računarstvo upisao je 2018. godine. Nakon završenih osnovnih studija, 2022. godine, upisao je master akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na studijskom programu Računarstvo i automatika.

kontakt: stefan.sa.aleksic@gmail.com



**IMPLEMENTACIJA DISTRIBUIRANOG ANTENSKOG SISTEMA U PROSTORU
STAMBENO-POSLOVNOG KOMPLEKSA**

**IMPLEMENTATION OF A DISTRIBUTED ANTENNA SYSTEM WITHIN THE
RESIDENTIAL-COMMERCIAL COMPLEX**

Strahinja Avramović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

**Oblast – ENERGETIKA, ELEKTRONIKA I
TELEKOMUNIKACIJE**

Kratak sadržaj – *Potreba za mobilnom pokrivenošću nikad nije bila veća do sada. Makroćelije sa spoljnim baznim stanicama uspešno zadovoljavaju potrebe korisnika kada se oni nalaze u spoljašnjoj sredini. Domen planiranja ćelijskog sistema koji se odnosi na unutrašnjost objekata predstavlja posebnu granu planiranja koja se susreće sa različitim izazovima. U ove svrhe koriste se DAS sistemi, koji predstavljaju posebno dizajnirane antenske sisteme koji su namenjeni za pokrivanje unutrašnjosti objekata signalom. U ovom radu opisana je praktična implementacija DAS istema, upotrebom aktivne opreme vendora Commscope, u prostoru jednog stambeno-poslovnog kompleksa.*

Ključne reči: *Mobilne tehnologije, Indoor sistemi, DAS, Commscope ERA*

Abstract – *The need for mobile coverage has never been greater. Macrocells with outdoor base stations successfully meet the needs of users when they are in the outdoor environment. The domain of cellular system planning related to the interior of buildings represents a special branch of planning that faces various challenges. For these purposes, DAS systems are used, which are specially designed antenna systems intended to cover the interior of buildings with a signal. This paper describes the practical implementation of the DAS system, using active equipment from the vendor Commscope, in the space of a residential-business complex.*

Keywords: *Mobile technologies, Indoor systems, DAS, Commscope ERA*

1. UVOD

Nagli porast mobilnih uređaja, koji se proteklih godina aktivno dešava, uz stalnu evoluciju mobilnih tehnologija, diktira i tempo razvijanja planerskog dela mreže, koja mora da se adaptira novim trendovima. Ovom dinamičnom okruženju potrebno je obezbedi jednu stabilnu, skalabilnu i održivu infrastrukturu koja bi mogla da odgovori svim zahtevima korisnika.

Od početka razvoja ćelijskih sistema bazne stanice sa antenskim elementima locirane su na stubovima ili

različitim objektima, sa ciljem pokrivanja bliže ili dalje okoline, u zavisnosti od mobilne tehnologije i prirode okruženja, zadržavajući se samo na ovom principu pokrivanja signalom. Bazne stanice ovog tipa mogu uspešno da pokriju spoljnu sredinu, poput ulica, terena, šetališta i slično.

Globalna statistika navodi da korisnici danas oko 80% svog vremena provode u zatvorenom prostoru, što podstiče potrebu za boljim pokrivanjem unutrašnjih delova zgrada (objekata generalno), koji trpe značajnu degradaciju kvaliteta signala, kako zbog prirode propagacije signala, tako i zbog preopterećenosti makroćelija korisnicima.

Definisana je posebna grana planiranja mreže, koja se odnosi na indoor okruženja i koja podrazumeva implemetaciju nezavisnih distribuiranih antenskih sistema (DAS), posebne namene za ovakav tip sredine.

Objekti koji su se pokazali kao najinteresantniji za ovakve sisteme, tj. koji su od najvišeg interesa za pokrivanje signalom su: tržni centri, aerodromi, bolnice, stadioni, itd.

2. EVOLUCIJA MOBILNIH TEHNOLOGIJA

Mobilne tehnologije čine osnovu ćelijskih sistema. One su prešle put razvoja od prve generacije (1G) koja je bila analogna, do pete generacije (5G), poslednje koja je aktivna, ali ne u svim delovima sveta. Takođe, postoji i šesta generacija (6G) koja je u fazi laboratorijskog razvoja i prve implementacije se očekuju do početka 2030. godine. 2G (GSM) tehnologija donosi digitalizaciju signala i svih servisa, pri čemu je glavni servis ove generacije bio prenos glasa i definisanje SIM (Subscriber Identity Module) kartice kao jedinstvene identifikacije korisnika na mreži. Od treće generacije 3G (UMTS, HSPA), razvoj mobilnih tehnologija preuzima svetsko standardizaciono telo 3GPP [2], koje započinje kontinualan proces razvoja, kroz iteracije četvrte 4G (LTE) i pete generacije, pa sve do danas. Svaka generacije mobilnih tehnologija donela je unapređenja u odnosu na prethodnu generaciju, kako u pogledu korisničkih servisa, tako i u optimizaciji upotrebe spektra, kao glavnog resursa mobilnih tehnologija.

Korisnički servisi koji su se razvijali vremenom, poput uspostave poziva (prenosa glasa), SMS poruka, strimovanja visokim kvalitetom, upotreba internet pretraživača (prenos podataka) i ostale brojne aplikacije, postale su deo svakodnevnog života nas korisnika i

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Vukobratović, red. prof.

mobilni servisi postali su jedni od glavnih servisa koje korisnici (svesno i nesvesno) očekuju da rade, gde god da se nalaze.

2.1. Javne mobilne telekomunikacione mreže i usluge u Republici Srbiji

Po izveštaju RATEL-a iz poslednje tri godine, usluge mobilne tehnologije u Republici Srbiji pružaju tri operatera [3]:

- Telekom Srbija a.d.
- Yettel (Telenor) d.o.o.
- A1 Srbija d.o.o.

Navedena tri mrežna operatora na osnovu dobijenih pojedinačnih dozvola za korišćenje radiofrekvencija po sprovedenom postupku javnog nadmetanja, koriste određene delove sledećih radiofrekvencijskih opsega:

- 791-821/832-862 MHz
- 890-915/935-960 MHz;
- 1710-1780/1805-1875 MHz;
- 1900-1915 MHz (Ovaj opseg operateri još ne koriste);
- 1920-1965/2110-2165 MHz.

U Srbiji se aktivno koristi LTE tehnologija, kao poslednja generacija koja je implementirana u sklopu ćelijske strukture na ovim prostorima, dok je u planu uskoro i integracija 5G tehnologije u postojeću infrastrukturu.

3. INDOOR MOBILNI SISTEMI

Makroćelije postale su preopterećene brojem korisnika koje opslužuju. Veliki broj tih korisnika nalazi se unutar zgrada. Deo korisnika koji se nalaze u zatvorenom prostoru prima spoljni signal ali ne i dovoljno dobar kako bi imao potreban kvalitet servisa. Sa druge strane i pored toga oni zauzimaju kapacitet spoljne bazne stanice i doživljavajući problem, oni dodatno i unose problem.

Zadatak indoor sistema je da se upravo ovakav scenario otkloni i da se zadovolje obe strane, prvo da rastereti makroćelije od korisnika koji su smešteni unutar objekta i drugo, da obezbedi potreban kvalitet servisa i pokrivanje unutrašnjeg prostora signalom. Drugim rečima, mobilni uređaji korisnika, tokom svog boravka u ovakvim objektima treba da prepoznaju ćeliju indoor sistema kao dominantnu u odnosu na spolju ćeliju, tj. baznu stanicu [1].

Indoor mobilni sistemi se drugačije nazivaju indoor DAS (Distributed Antenna System) sistemi, koji se projektuju radi pokrivanja unutrašnjih prostora.

3.1. Podela indoor DAS sistema

DAS sistemi se mogu podeliti na pasivne, aktivne i mešovite, tj. hibridne, koji su kombinacija prethodna dva. Naziv sistema potiče od tipa opreme koja se koristi.

Pasivni sistemi sadrže pasivnu opremu. Ona može u osnovi podrazumeva koaksijalne kablove, razdelnike signala (spliteri, taperi, kapleri), kombajnere, atenuatore, pasivne indoor antene, itd. Pasivni sistemi samo prosleđuju RF signal i distribuiraju ga dalje u mrežu ka korisnicima, bez ikakve dodatne mogućnost upravljanja signalom.

Aktivni sistemi mogu da vrše digitalizaciju RF signala i njegovo upravljanje, tj. organizaciju pre dalje distribucije ka korisnicima. Komponente aktivnog sistema zahtevaju napajanje, što je bitna razlika u poređenju sa pasivnom opremom. Osnovne aktivne komponente su:

- Upravljačke (master) jedinice – vrše prijem RF signala i digitalizaciju istog. Prosleđuju i ograničuju digitalizovan signal ka daljoj aktivnoj mreži
- Jedinice za proširenje – aktivne komponente koje se često upotrebljavaju kao proširenje sistema ukoliko master jedinice nisu dovoljne za čitav sistem
- Pristupne tačke – vrše konverzije digitalnog signala u RF signal i unose pojačanje izlaznog signala
- Optički i Ethernet kablovi – veza između aktivnih komponenti.

Hibridni sistemi predstavljaju mešavinu pasivne i aktivne opreme, gde se na aktivni deo mreže nadovezuje i pasivna mreža, koja na svojim krajevima ima pasivne antene, kao interfejs između mreže i korisnika. Hibridni sistemi često predstavljaju najadekvatnije rešenje za velike projekte obzirom na kompromis cene i kvaliteta pokrivanja koje se postiže.

U nastavku sledi opis projektovanja indoor DAS sistema u stambeno-poslovnom kompleksu WEST 65, sa ERA aktivnim sistemom vendara Commscope koji je implementiran u sklopu hibridnog DAS sistema.

4. PROJEKTOVANJE DAS SISTEMA U PROSTORU STAMBENO-POSLOVNOG KOMPLEKSA WEST65

4.1. Opis lokacije

Kompleks se sastoji iz dela avenije (stambeno-poslovni deo), kule sa 40 spratova (stambeni deo), tržnog centra i bolnice. Deo avenije nije bio od interesa za pokrivanje signalom i on je fizički odvojen od ostala tri dela, dok su kula, tržni centar i bolnica spojeni međusobno, navedenim redom i čine jedinstven objekat. Ispod čitavog kompleksa, obuhvatajući i aveniju, nalaze se dva podzemna nivoa garaža.

Na delu kompleksa koji obuhvata kulu, tržni centar i bolnicu implementiran je hibridni DAS sistema, sa komponentama aktivnog ERA sistema, vendara Commscope, kao jednog od vodećih lidera iz ove oblasti na tržištu, dok je u okviru podzemnih nivoa parkinga postavljen čisto pasivni DAS sistem.

Projektovanje i instalaciju sistema izvodio je inženjerski i tehnički tim firme Panos Inženjering, iz Novog Sada.

Izgled kompleksa WEST 65 prikazan je na slici 1.

4.2. ERA Commscope digitalni DAS sistem

ERA sistem [4], vendara Commscope predstavlja potpuno digitalno rešenje. ERA je multioperatorski sistem koje može da ponudi potpuno aktivno rešenje, ili hibridno, gde bi se na pristupne tačke nadovezala mreža pasivnih elemenata.



Slika 1. Izgled stambeno-poslovnog kompleksa WEST 65

Arhitektura ERA sistema je prilagodljiva okruženju u kojem se projektuje, a osnovne komponente su:

- WIN/CAN – master jedinice za centralizaciju sistema u koje ulaze signali baznih stanica i nad kojima se vrši digitalizacija. CAN predstavlja minimalnu potrebnu komponentu kako bi se sistem definisao, dok je WIN viši stepen arhitekture koji nije nužan.
- TEN – jedinica za proširenje sistema
- UAP/CAP – pristupne tačke koje konvertuju digitalizovani signal nazad u RF i pojačavaju ga ka daljoj distribuciji mreže.

U okviru WIN/CAN/TEN komponenti dodaju se interfejs moduli u vidu karica, koji mogu biti tipa:

- Donor kartice:
 - RFD - RF donor
 - CDD – CPRI digital donor
- Transportne kartice:
 - OPT – Optical transport
 - CPT – Copper transport
- Kontrolne kartice:
 - SUI – System user interface

Pristupne tačke ERA sistema definisane su kao:

- UAP (Universal access point) – potpuno aktivno rešenje, sa integrisanom antenom
- CAP (Carrier access point) – nema integrisanu antenu, potrebno je nadovezati mrežu pasivnih elemenata na njih (hibridno rešenje): Varijacije CAP jedinice su: CAPL, CAPM i CAPH

4.3. Inicijalna konfiguracija

Na lokaciji WEST 65, u okviru telekomunikacionih prostorija instalirane su bazne stanice sva tri operatera. Tehnologije i bednovi koji su pušteni na DAS sistem su: GSM 900 (B8), LTE 1800 (B3), LTE 1800 (B3) MIMO, UMTS 2100 (B1), LTE 2100 (B1), LTE 2100 (B1) MIMO.

Ista konfiguracija ulaza definisana je i za hibridni i za pasivni DAS sistem, u okviru kompleksa.

Signali sa baznih stanica dovode se na E-POI atenuatore, slabljenja 30 dBm-a, koji se ovim postupkom nivelišu na opseg snage od -16 do 16 dBm, kako bi RF donor kartice mogle da očitaju signale. Signali se zatim kombinuju, po frekvencijskom bendu, za sva tri operatera, u okviru multiband kombajnera, odakle se kombinovani izlazi vode na pojedinačne RFD portove.

Sistem očitava ukupno 36 frekvencijskih kerijera, pri čemu ima uvid o osnovnim informacijama svakog kerijera, a to su: Port RDF kartice koji ga očitava, Operater, Band, ARFCN, DL (Downlink), Tip, Cell ID i MIMO konfiguracija.

4.4. Sektorizacija

Na hibridnom sistemu definisana su dva sektora, prvi opslužuje bolnicu, tržni centar i prva tri sprata kule, dok drugi sektor opslužuje ostatak spratova kule, od 3. do 40. sprata. Pasivni DAS u garažama definisan je kao treći, potpuno nezavistan sektor.

Sektorizacija je usko povezana sa kapacitetom sistema. Jedan sektor ne može da opsluži sve korisnike na lokaciji, pa je potrebno prvo proceniti broj korisnika na objektu i zatim spram toga definisati broj sektora, kao dodatnog kapaciteta sistema.

4.5. MIMO 2x2

Na sistemu su korišćeni CAPM radio moduli, zbog kojih je čitav sistem mešovitog (hibridnog) tipa. CAPM moduli nemaju integrisanu antenu i sa pojačanjem od 30dBm pojačava ulazni signal i distribuira ga dalje u mrežu.

Na zahtev operatera implemetirana je MIMO 2x2 tehnika u hibridnom sistemu. MIMO 2x2 je ostvaren kaskadnim povezivanjem CAPM jedinica, zbog čega se na svakoj planiranoj poziciji radio modula nalaze dve CAPM jedinice. Na putanji od CAPM jedinica ka MIMO pasivnim antenama sve pasivne komponente su duplirane.

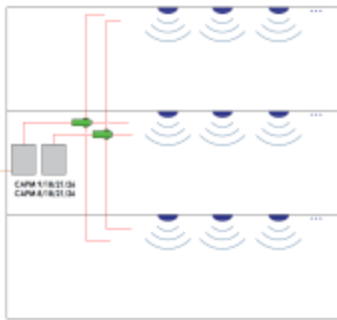
Svaka CAPM jedinica emituje signal strimove, tj. organizovane ulazne kerijere, kako bi ostvario MIMO 2x2 kapacitet.

4.6. Pozicioniranje opreme i kalkulacija zračenja

Rezultat planiranja opreme predstavlja kompromis između budžeta operatera i fizičkih ograničenja na objektu.

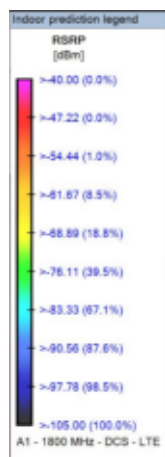
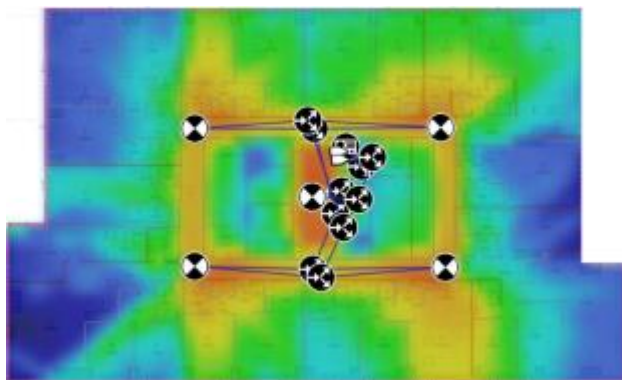
Primeru radi, projetovanje sistema u kuli zamišljeno je postavljanje pozicije jednog para CAPM jedinica na svaki treći sprat kule, pri čemu bi te jedinice pokrivale sprat iznad, sprat ispod i trenutni sprat, gde u proseku imamo 5 omidirekcionih antena po spratu. Princip povezivanja prikazan je na slici 2. Nakon definisanja pozicije komponenti sistema, sa pozicijom antena, izvodi se kalkulacija nivoa signala u prostoru koji se pokriva.

Radio mapa pokrivanja urađena je uz pomoć IBwave softvorskog alata, pri čemu su kao referentni indikatori stanja signala uzeti parametri RSSI i RSRP, za LTE 1800 tehnologiju.



Slika 2. Planiranje pokrivanja tipskog sprata kule

Radio mapa pokrivanja signalom, sa prohodno definisanim pozicijama opreme na spratu kule, prikazana je na slici 3. Referentni parametar je RSRP, kao indikator snage LTE signala.



Slika 3. IBwave radio mapa za LTE 1800 tehnologiju

Kalkulacija signala na izlazu iz antene može se izračunati i postupnom kalkulacijom, računajući slabljenje signala

od CAPM jedinice, sve do izlaza antene, pri čemu se uz pomoću izarza (1) dobija ukupna izlazna snaga na anteni:

$$EIRP = (CAPM\ pow) - (Path\ loss) + (Antenna\ gain) \quad (1)$$

Dodatno, može se izračunati nivo polja signala na proizvoljnoj udaljenosti od antene, što je prikazano u izrazu (2):

$$Field\ level = EIRP + (Air\ path\ loss) + (Building\ materials\ loss) \quad (2)$$

5. ZAKLJUČAK

Završna faza implemetacije sistema, nakon instalacije opreme, podrazumeva i određena merenja signala. Na lokaciji su spravedena merenja uz pomoć G-MoN mobilne aplikacije koja prikazuje nivoe različitih parametara signala, za različite tehnologije, iz čega se može videti da li sistem zadovoljava opšte kriterijume za dobre nivoe signala.

Treba istaći da projektovanje ovakvih sistema ima dve strane, prva se odnosi na planiranje *coverage* dela, gde je potrebno obezbediti dobro pokrivanje signalom na više od 95% površine od interesa u datom objektu, što je u ovom slučaju bio zadatak inženjerskog tima firme Panos Inženjering, dok je deo optimizacije koji upravlja radom i kvalitetom svih korisničkih servisa i hendoverom, na strani operatera, koji konfigurišu svoje bazne stanice.

6. LITERATURA

- [1] Mort en Tolstrup, Third Edition, „A practical Guide for 2G, 3G, and 4G“
- [2] 3GPP – The Mobile Broadband Standard. (n.d.). <https://www.3gpp.org/>
- [3] Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge RATEL - „Pregled tržišta elektronskih komunikacija i poštanskih usluga u Republici Srbiji u 2021. godini“
- [4] ERA® Digital Distributed Antenna System CommScope. (n.d.). CommScope. <https://www.commscope.com/product-type/in-building-cellular-systems/distributed-antenna-systems-das/era/>

Kratka biografija:



Strahinja Avramović rođen je u Novom Sadu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetika, elektronika i telekomunikacija – Informaciono-komunikacione tehnologije odbranio je 2023.god.
Kontakt:
strahinja.avramovic333@gmail.com

LORAWAN TEHNOLOGIJA I IOT SERVISNA PLATFORMA U MREŽAMA MOBILNIH OPERATERA**LORAWAN TECHNOLOGY AND IOT SERVICE PLATFORM IN MOBILE OPERATOR NETWORKS**

Dejan Polovina, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ENERGETIKA, ELEKTRONIKA I TELEKOMUNIKACIJE

Kratak sadržaj – Razvoj Internet of Things (IoT) tehnologije značajno je promenio način na koji razmišljamo o povezivanju uređaja. Sve više pametnih uređaja u današnjem svetu zahteva visoko kvalitetnu povezanost na internet, a u tom pogledu LoRaWAN mreža se pojavila kao visoko učinkovito rešenje.

Glavne reči: LORAWAN, ACTILITY, IOT

Abstract – The development of Internet of Things (IoT) technology has significantly changed the way we think about connecting devices. More and more smart devices in today's world require a high-quality connection to the Internet, and in this regard, the LoRaWAN network has emerged as a highly effective solution.

Keywords: LORAWAN, ACTILITY, IOT

1. UVOD

LoRaWAN (engl. *Long Range Wide Area Network*) mreža je tehnološki napredna mreža za povezivanje IoT uređaja na daljinu. Ova mreža omogućava bežično povezivanje uređaja na velike udaljenosti pri tome uz nisku potrošnju energije, što je posebno važno za aplikacije koje zahtevaju dugotrajno održavanje baterija. LoRaWAN je otvoreni mrežni protokol koji se nalazi pod nadzorom LoRa Alliance [1].

Protokol je zasnovan na tehnikama modulacije proširenog spektra. Razvio ga je Cycleo, francuska kompanija, koju je preuzela kompanija sa nazivom Semtech. Ova tehnologija je implementirana na LoRa (engl. *Long Range*) arhitekturi, koja koristi nisko frekventne radio signale za bežični prenos podataka. LoRaBee moduli, koji su ključni deo LoRa arhitekture, obezbeđuju pouzdanu i sigurnu konekciju između uređaja i mreže.

Kao što se može videti, LoRaWAN mreža i LoRa arhitektura predstavljaju veliki potencijal za industriju i značajno unapređenje IoT tehnologija u budućnosti. Stoga, u ovom radu ćemo detaljno razmotriti ove tehnologije, njihovu arhitekturu i radnu uspešnost kako bismo potvrdili njihovu važnost i doprinos u razvoju IoT tehnologije u budućnosti.

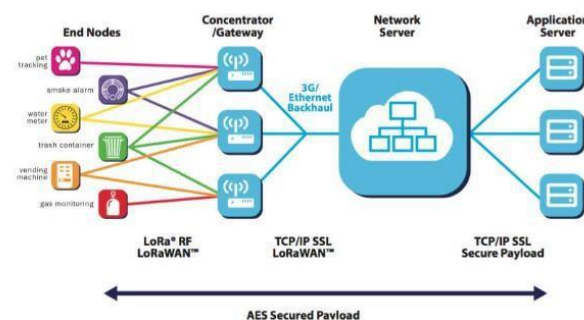
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Vukobratović, red. prof.

2. LORA ARHITEKTURA

Većina modernih mrežnih struktura koristi mesh strukturu zbog pogodnosti koju ona nudi. Upravo korišćenjem ovakve mrežne strukture, sistem može povećati opseg komunikacije. U mesh strukturi čvorovi moraju prosledivati poruke drugim čvorovima iako su te poruke za njih nebitne.

Ovakav vid komunikacije može uticati na trajanje baterije koja napaja pojedine čvorove. LoRaWAN mreža koristi topologiju zvezde koja bitno utiče na vek trajanja baterije te produžava vreme komunikacije krajnjih uređaja.



Slika 1. LoRaWAN arhitektura
(Preuzeto sa: <https://www.3gltinfo.com/lora/lora-architecture/>)

2.1. LoRa klasa uređaja

Važno je napomenuti da LoRaWAN definiše komunikacioni protokol i arhitekturu samog sistema, dok LoRa definiše fizički sloj ove arhitekture. Kako IoT u današnje vreme koristi sve veći broj uređaja, senzora i aktuatora, čije krajnje funkcije danas postaju raznovrsne do te mere da same fineše utiču pri izboru krajnjeg uređaja za uključanje na mrežu i optimizaciju posla koji treba obaviti.

Klasa A – Najprikladniji za senzore čije je napajanje putem baterije. Ovakvi senzori su energetske najefikasniji i sam vek trajanja baterije doseže i do nekoliko godina. Važno je napomenuti da svi ostali uređaji koji se nalaze u LoRaWAN mreži podržavaju ovu klasu. Nakon izvršenog prenosa podataka ostvaruje se mogućnost za downlink komunikaciju.

Klasa B – Uređaji koji pripadaju ovoj klasi se retko koriste u praksi, razlog je to što sam uređaj u sebi mora imati ugrađen tajmer zbog organizovanog prijema slotova, te same sinhronizacije signala od mrežnog gateway-a.

Klasa C – Krajnji uređaj sa maksimalnim prijemnim slotovima, ovakvi uređaji zapravo neprekidno slušaju dolazne poruke koje im pristižu, te je ovakav tip uređaja veoma pogodan ukoliko se realizuje neki brojač ili tome slično.

2.2. LoRa Gateway

Pojam gateway se odnosi na fizički uređaj ili kućište u kojem se nalazi hardver i aplikativni softver koji obavlja osnovne zadatke za povezivanje IoT uređaja sa cloud-om. Kod IoT uređaja gateway se koristi kao centralno čvorište koje povezuje primljene podatke sa vanjskim mrežama. LoRa gateway-i su zapravo koncentratori (engl. *concentrator*), koji omogućavaju prijem RF signala koji emituju LoRaWAN krajnji uređaji. Upravo u ovim gateway-ima se primljeni signal dalje konvertuje u signal pogodan za dalje slanje ka severima. Radi lakšeg razumevanja rada gateway možemo posmatrati kao rad Wi-Fi rutera.

Kako krajnji uređaji, senzori, šalju prikupljene podatke do gateway-a pomoću RF signala, pristigle signale gateway konvertuje u format koji omogućava veće brzine prenosa podataka.

Maksimalna brzina prenosa podataka do LoRa iznosi 50 kB/s. Navedena brzina je dovoljna za komunikaciju između uređaja ili između uređaja i gateway-a. Ovo ne predstavlja problem ukoliko kompletna mreža sadrži mali broj senzora, ali ukoliko mreža broji veći broj senzora koji istovremeno šalju podatke, navedena brzina od 50 kB/s može da predstavlja problem prilikom isporuke podataka [2].

2.3. Sigurnost LoRa protokola

LoRaWAN pruža sigurnost prilikom end-to-end komunikacije, korišćenjem aplikacionih mrežnih ključeva. Kao kod svake mreže postoji mogućnost za napad, te je važno osigurati bezbedno komuniciranje. Međutim, napadač sa fizičkim pristupom može ugroziti LoRa krajnje uređaje. Ukoliko napadač dobije pristup fizičkom uređaju, postoji mogućnost krađe ključeva. Krajnji uređaji obično sadrže LoRa radio modul i mikrokontrolersku jedinicu (MCU, engl. *The Microcontroller Unit*). Radio modul vrši komunikaciju sa glavnim mikrokontrolerom preko UART-a (engl. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) ili SPI-a (engl. *Serial Peripheral Interface*). Podaci koji se razmenjuju ili naredbe koje se prosleđuju, između radio modula i glavnog računara, mogu se presresti pomoću vanjskog uređaja. Ukoliko se UART interfejs koristi između dva integraciona kola (engl. *Integrated Circuit*), osnovno kolo može se koristiti za izdvajanje svih razmjena ključeva.

Današnji, savremeni radijski moduli ne podržavaju enkripciju paketa za komunikaciju između glavnog mikrokontrolera i radijskog modula. Upravo na ovakve stvari je potrebno obratiti pažnju kako bi se zaštitila komunikacija, jer ukoliko nije podržana enkripcija paketa radio modul nema način da shvati da li je poruka poslana od strane glavnog mikrokontrolera ili je takva poruka pristigla od treće strane.

Takođe postoje zlonamerni entiteti, napadači, koji presreću ovakve poruke u svrhu prikupljanja paketa koji se prosleđuju, time se može stvoriti lažni uređaj koji emituje slične podatke ili prosto manipulise trenutnim.

2.4. Ometanje radio signala

Iako se danas urbanizovana mesta mogu pohvaliti sa izuzetnom pokrivenošću mreže, današnji IoT uređaji vode borbu sa ometanjem radio signala (engl. *Radio Jamming*) koji je neophodan za ispravnu komunikaciju između krajnjih uređaja, senzora i aktuatora, te korisnika sa druge strane.

Zlonamerni entiteti mogu da transmituju snažan radio signal u blizini aplikacijskih uređaja te tako poremete radio prenos. Takvi napadi zahtevaju dodatni hardver, koji smanjuje mogućnost napada i time povećava šansu za uspešnost slanja podataka. Iako je

CSS (engl. *Chirp Spread Spectrum*) modulacija veoma poznata po svojoj otpornosti na smetnje, jer koristi tehniku proširenog spektra koja koristi širokopojasne linearno frekvencijsko modulisane chirp impulse za kodovanje informacija a pri tome je otporna na višestruko izbeljivanje čak i kada radi na veoma maloj snazi, nisu prisutni nikakvi ni pseudo-slučajni elementi u signalu, a dodatno je otporan i na Doplerov efekat. Sve ovo ne isključuje mogućnost da dva LoRa uređaja pokušavaju da ostvare komunikaciju na istoj frekvenciji i faktoru širenja spektra, te upravo na taj način se vrši interferencija između takvih uređaja.

2.5. Napad ponavljanja

Istraživanja su pokazala da se zapravo LoRa uređaji, u realnom okruženju mogu ometati upravo drugim LoRa uređajima. Veoma je lako ustanoviti da postoji mogućnost da dva LoRa uređaja na određenoj udaljenosti komuniciraju na istim frekvencijama i podešavanjima.

Napad ponavljanja (engl. *Replay Attack*) je sigurnosna pretnja koja se može pojaviti u LoRa mrežama. To se događa kada napadač presretne LoRaWAN promet između dva čvora i kasnije ponovi taj promet kako bi izveo napad.

Ovim napadom se pokušava prevariti LoRa mrežni server ili krajnji korisnik tako da se podaci lako prikažu kao legitimni. Glavna svrha ovog napada je prevariti uređaj ili modul korišćenjem poruka rukovanja (engl. *handshake messages*) ili starih podataka sa mreže. Kako bi napadač izvršio napad, neophodno je da se pozna frekvencija na kojoj se vrši komunikacija i kanal kojim se vrši komunikacija.

Napadači često vrše menjanje podataka koje pristiže sa senzora koji se nalaze na udaljenim lokacijama. Ovakvom vrstom manipulisanja podataka korisni ima privid u nestvarno satanje koje svoje mreže.

Ukoliko se sistem nalazi u agrikulturi te senzori vrše slanje podataka vezanih za vlažnost zemljišta a napadač izvrši izmenu podataka vrlo je lako moguće da će izmena ovih podataka imati uticaj na sisteme koji se koriste u daljoj primeni, regulacija pritiska vode u sistemu za navodnjavanje.

3. ACTILITY Platforma

Actility je inovator i industrijski lider u oblasti LPWA (engl. *Low Power Wide Area*). ThingPark je IoT platforma koju je razvio Actility, ova platforma je zasnovana na poslednjoj generaciji aktuelnih standarda. ThingPark Wireless LPWA mreža pruža dalekodometnu pokrivenost za senzore niske potrošnje energije. Između ostalog, Actility platforma nudi sljedeće LoRaWAN funkcionalnosti:

- Mogućnost upravljanja velikim brojem LoRaWAN gatewaya (uređaja koji omogućavaju komunikaciju između IoT uređaja i platforme)
- Integrirana podrška za sigurnosne protokole (enkripcija podataka)
- Napredne mogućnosti za upravljanje energijom
- Velika skalabilnost i mogućnost proširenja mreže

Kompletna platforma dolazi sa već pripremljenom korisničkom aplikacijom koja je vrlo jednostavna za korišćenje. Korisniku se ostavlja mogućnost uvezivanja velikog broja LoRaWAN gatewaya kao i uvezivanje i kreiranje svoje mreže zajedno sa ostalim IoT uređajima koji tu mrežu čine. Za povezivanje novih uređaja na Actility platformi neophodno je da korisnik ima uvid u osnovne podatke tog uređaja, kao na primer: Proizvođač, Model, Pristupni server, DevEUI, AppKey. Svi navedeni podaci se obično nalaze na poleđini IoT uređaja. Za pojedinine uređaje proizvođač je kreirao mobilne aplikacije, aplikacije funkcionisu na osnovu skeniranja QR koda koji se nalazi na poleđini IoT uređaja a zatim aplikacija povlači neophodne podatke.

Platforma nudi mogućnost praćenja uređaja i podataka koje taj uređaj/senzor prosleđuje. Važno je napomenuti da se zbog dugotrajnosti same baterije koja se nalazi u uređaju preporučuje da se optimizuje slanje podataka ka gateway-u, ovo bi značilo da se je za neke uređaje dovoljno da šalju podatke jednom dnevno ili dva puta dnevno, dok je za neke uređaje potrebno da šalju podatke tek na promenu trenutnog stanja (IoT pametni parking, gde uređaj služi za očitavanje slobodnog parking mesta).

4. ZAKLJUČAK

LoRaWAN kao IoT tehnologija ima velikog potencijala prilikom izbora mreža kod kojih je neophodna pokrivenost mreže. U poređenju sa nekim drugim tehnologijama kao što su ZigBee ili 3G/4G/5G, LPWAN ima značajno veću pokrivenost lokacije, domet u kojem se poruka može proslediti i značajnu prednost u odnosu na navedene tehnologije ima u prenosu podatka kroz mrežu (engl. *Transmission Latency*). Dok navedene tehnologije u odnosu na LPWAN imaju značajnu prednost u bandwidth-u, broju baznih stanica i slično. LoRaWAN koristi bežičnu tehnologiju koja omogućava slanje podataka iz senzora i drugih uređaja na velike udaljenosti, bez potrebe za dodatnom infrastrukturom. To znači da LoRaWAN može obezbediti komunikaciju između mesta koja su jako udaljena, što ovu tehnologiju čini idealnom za primene poput urbanog praćenja isporuka, praćenja sistema za navodnjavanje poljoprivrednih površina, praćenje

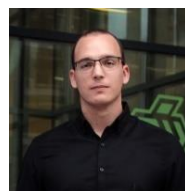
udaljenih objekata u energetici, pa čak i za pametne gradove.

Zahvaljujući mogućnostima koje pružaju LoRa i Actility, očekuje se dalji razvoj novih IoT aplikacija i aplikacija izvan granica uobičajenih vertikalna. LoRaWAN postaje sve popularnija tehnologija kako zbog svoje široke primene, tako i zbog ogromnog potencijala kojeg još uvek nosi sa sobom, a Actility platforma pruža jednostavan i efikasan način za upravljanje takvom mrežom.

5. LITERATURA

- [1] LoRa Alliance, "About LoRa Alliance" – <https://loraalliance.org/about-lora-alliance/> (pristupano u septembru 2023.)
- [2] WyldNetworks – What is LoraWAN Gateway? – <https://wyldnetworks.com/blog/what-is-alorawangateway> (pristupano u septembru 2023.)

Kratka biografija:



Dejan Polovina rođen je u Sremskoj Mitrovici 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetika, elektronika i telekomunikacije – Informaciono-komunikacione tehnologije, odbranio je 2023.god.
kontakt: dejan.pola@hotmail.com

PRELAZNI REŽIMI PRILIKOM ENERGIZACIJE, KRATKIH SPOJEVA I OPTEREĆIVANJA TRONAMOTAJNIH TRANSFORMATORA SA PODELJENIM NAMOTAJIMA**TRANSIENT REGIMES OF ENERGIZATION, SHORT-CIRCUIT AND LOADING OF THREE-WINDING TRANSFORMERS WITH SPLIT WINDINGS**Filip Milanković, Stevan Cvetičanin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – Date su teorijske osnove tronamotajnih transformatora sa podeljenim namotajima, a navedeni su i odgovarajući primeri iz literature i prakse. Razmatrana su tri tipa prelaznih režima sa povećanim stujama – uključanje, udarni kratak spoj i opterećenje. Kod uključanja je izvršena analiza uključanja pojedinačnog transformatora i transformatora u paralelnom radu uz primenu specijalizovanog softverskog alata PSCAD. Proračuni reaktanse i sila kratkih spojeva izvršeni primenom metoda konačnih elemenata. Kod analize i praćenja opterećenja korišćen je standard IEC 60076-7 [7]. Za sve prelazne režime razvijeni su odgovarajući dopunski paketi u MS EXCEL-u koji uključuju VBA kod.

Ključne reči: Tronamotajni transformator, Podeljeni namotaji, Prelazni režimi, Energizacija, Stuje kratkog spoja.

Abstract – This paper presents the theoretical foundations of three-winding transformers with split windings and gives examples from literature and practice. Three transient processes with increased currents were considered - switching on, shock short circuit and loading. When switching on, an analysis of the switching on of individual transformers and transformers in parallel operation was carried out with the application of specialized PSCAD software. Calculations of reactance and short-circuit forces performed using the finite element method. The IEC 60076-7 standard [7] was used for the analysis and calculation of loading. For all transition processes, appropriate software tools have been developed in MS EXCEL that include VBA code.

Keywords: Three-winding transformer, Split-winding, Transient processes, Energization, Short-circuit current.

1. UVOD

Energetski transformatori su najznačajniji i najskuplji element transformatorskih stanica i kao takvi su posebno važni za naručioce (kupce), vlasnike, korisnike (elektroprivreda i privreda uopšte), operatere, dobavljače, proizvođače transformatora i opreme, itd.

Ekološki i socio-ekonomski zahtevi doprineli su globalnom povećanju instalacija sistema za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora.

NAPOMENA:

Članak je proistekao iz master rada čiji mentor je bio dr Stevan Cvetičanin.

Transformatori koji se koriste u vetroelektranama i foto-naponskim elektranama zahtevaju posebne karakteristike kako bi ispunili sve izazovne i uslove rada.

U ovom radu biće reči o posebnoj vrsti tronamotajnog transformatora, koji ima dva primara, podeljena namotaja (eng. *split windings*) i jedan sekundar koji služi za podizanje napona. S obzirom na velika ulaganja u postrojenja za proizvodnju i baterijsko skladištenje električne energije, kao i dinamičan razvoj istih, tema master rada je izuzetno aktuelna i značajna.

Za pravilno projektovanje, izgradnju i korišćenje transformatora veoma je važno proučavanje prelaznih režima rada. Stanja kod kojih se mogu pojaviti povećane struje u transformatoru su:

- Uključenje transformatora i pojave kratkih spojeva, kod kojih struje u namotajima mogu da budu višestruko veće od naznačene struje. Tokom ovih brzih prelaznih procesa, namotaji su izloženi elektrodinamičkim i termičkim naprezanjima u kratkom trajanju (reda veličine sekunde);
- Preopterećenje transformatora u slučaju nužde, do 1,5 naznačene struje za kratkotrajna preopterećenja do 30 minuta i dugotrajna preopterećenja do 1,3 naznačene struje.

Cilj rada jeste da se prikupe i sistematizuju postojeće informacije, da se da teorijski okvir i objasne specifičnosti ove aplikacije, kao i da se metodom analize i proračuna dođe do novih informacija za tronamotajne transformatore sa podeljenim namotajima. Ove informacije su potrebne kako proizvođačima transformatora za unapređenje projekta i proizvodnje tako i korisnicima za definisanje zahteva (specifikacije) prilikom nabavke novih transformatora, kako bi se izbegli problemi i kvarovi uočeni na drugim novim sistemima za proizvodnju i skladištenje električne energije.

U ovom članku izvršena je analiza uključanja tronamotajnog transformatora u komercijalnom softveru PSCAD čija je glavno svojstvo analiza prelaznih režima u elektro-energetskim sistemima. Pored uključanja jednog transformatora, dodatno je urađena simulacija uključanja transformatora u paralelnom radu, gde dolazi do pojave „saosećajne“ struje u transformatoru. Proračun kratkih spojeva je zasnovan na metodu konačnih elemenata koji je impelmentiran u MS EXEL pomoću VBA koda. Proračun optimalne naznačene snage transformatora je urađen u MS EXEL-u pomoću VBA koda. Rezultati proračuna su prikazani tabelarno i grafički. Rezultati su prevashodno

analizirani, a potom upoređeni sa primerima iz literature i standarda.

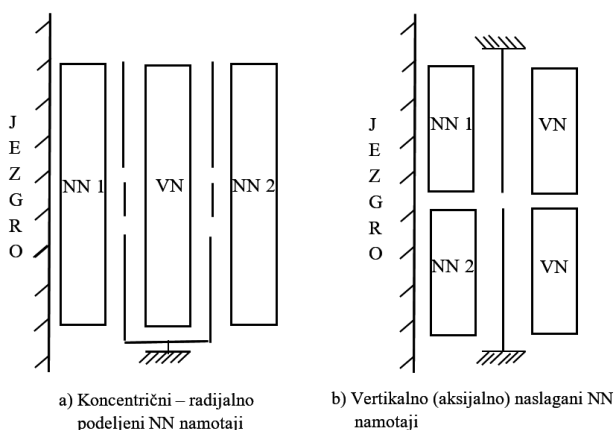
2. TRONAMOTAJNI TRANSFORMATORI SA PODELJENIM NAMOTAJIMA

U ovom poglavlju biće prikazana teorijski osnov sa osnovnim konfiguracijama, date preporuke za projekat (dizajn) i navedeni primeri tronamotajnih transformatora sa podeljenim namotajima. U [1] je dato upustvo za transformatore koji se koriste u sistemima za distribuiranu proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sistema. Pomenuto upustvo sadrži neka praktična razmatranja za specifikaciju, dizajn i primenu višenamotajnih transformatora sa namerom da se osigura da transformatori za ovu primenu budu efikasniji, pouzdaniji kao i da se zadovolje rastuće potrebe za njima.

Kod tronamotajnih transformatora sa podeljenim namotajima se obično dva primarna (NN) namotaja napajaju sa dva odvojena invertora. Dizajn često zahteva odvojene, galvaniski izolovane, primarne (NN) namotaje. Za ove transformatore postoje nekoliko impedansi koje mogu da se definišu:

- NN1, NN2-VN (oba NN namotaja su kratkospojeni, VN namotaj se napaja)
- NN1-VN i NN2-VN (jedan od NN namotaja je kratko spojen, VN namotaj se napaja)
- NN1-NN2 (jedan od NN namotaja je kratko spojen, drugi NN namotaj se napaja).

Impedansa kratkog spoja NN1, NN2-VN se definiše za punu naznačenu snagu dok se preostale impedanse definišu za pola naznačene snage. Važno je da se imaju bliske ili jednake impedanse kratkog spoja svakog od NN namotaja prema VN namotaju. Sa druge strane, preporučuje se da se ima dovoljno visoka impedansa kratkog spoja između dva NN namotaja kako bi se odvojili ovi namotaji (eng. *decouple*). Preporučuje se da impedansa kratkog spoja NN1-NN2 ne bude manja od 8% (kod polovine naznačene snage transformatora).



Slika 2.1. Primeri osnovnih konfiguracija tronamotajnih transformatora sa podeljenim namotajima.

Prednosti koncentričnih namotaja NN1-VN-NN2 (Slika 2.1 a)) su velika vrednost impedanse kratkog spoja NN1-NN2 i kompaktan dizajn a nedostatak su različite impedanse NN1-VN i NN2-VN.

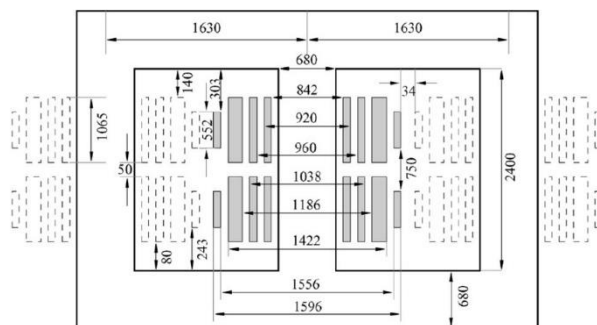
Prednosti vertikalno naslaganih (eng. *stacked*) namotaja NN1-NN2-VN (Slika 2.1 b)) su bliske vrednosti obe

impedanse kratkog spoja NN1-VN i NN2-VN i velika vrednost impedanse kratkog spoja NN1-NN2, dok je nedostatak manje kompaktan dizajn.

Zbog specifičnih zahteva u vezi impedanse i kratkih spojeva projektna rešenja ovih tronamotajnih transformatora su složenija u odnosu na standardne dvonamotajne transformatore. U [2] su date preporuke za projektovanje (dizajn) tronamotajnih transformatora sa podeljenim namotajima. Vertikalno naslagani NN namotaji sa podeljenim VN namotajem (Slika 2.1 b)) je preferiran pristup nekoliko proizvođača zbog navedenih prednosti.

Transformatori koji se koriste u fotonaponskim solarnim elektranama su projektovani za relativno male gubitke u praznom hodu jer transformator tokom noći radi u praznom hodu, tj. napaja se strujom praznog hoda iz elektroenergetskog sistema. NN namotaj transformatora u sistemima fotonaponskih elektrana je obično blizu jezgra. Zbog toga je struja uključanja relativno velika u poređenju sa normalnim transformatorom za sniženje napona, budući da transformator prilikom uključanja ima malu reaktansu vazdušnog jezgra NN namotaja.

U ovom poglavlju će biti prikazana dva primera, prvi iz literature [3], a drugi iz prakse koji približno odgovara stvarnom transformatoru u projektu (iz razloga poverljivosti podataka, snaga transformatora je malo umanjena). U analizi struje uključanja tronamotajnih transformatora, zbog detaljnog poznavanja geometrije i rasporeda ampernavojaka u prozoru transformatora, Slika 2.2, koristiće se primer transformatora iz literature [3], snage 70 MVA.



Slika 2.2. Primeri geometrije transformatora sa podeljenim namotajima [3], sve dimenzije su u mm.

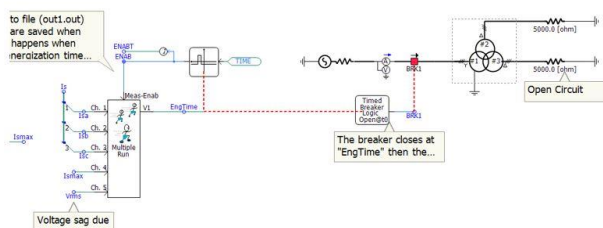
U analizi opterećenja tronamotajnih transformatora koristiće se podaci transformatora iz prakse. Osnovni podaci transformatora su 400/33/33 kV, 600/300/300 MVA, grupa sprege YNd11d11.

3. STRUJA UKLJUČENJA TRANSFORMATORA

U ovom poglavlju vrednost amplitude prvog vrha struje uključanja (eng. *inrush current* ili *magnetization inrush current*) će biti date analitičkim izrazom. Simulacijama u PSCAD-u biće obrađeni slučajevi uključanja pojedinačnog transformatora, kao i transformatora u paralelnom radu (eng. *symphatetic inrush current*).

Simulacija struje uključanja izvršena je pomoću programa za simulaciju elektromagnetskih prelaznih procesa PSCAD verzija 5.0. U ovom poglavlju dat je primer proračuna struje uključanja trofaznog tronamotajnog transformatora naznačene snage 70 MVA prikazanog u poglavlju 2. Maksimalna struja uključanja određena je primenom analitičkog postupka, kao i simulacijom, za

slučaj bez zaostale indukcije, za pojedinačni i paralelan rad transformatora.

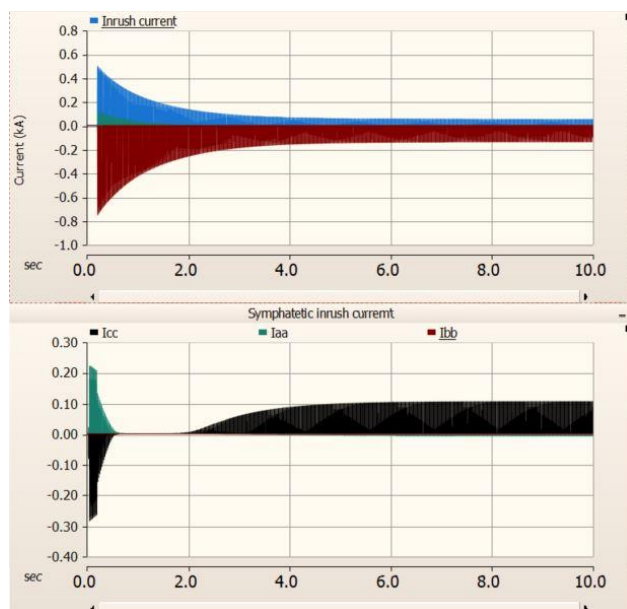


Slika 3.1. Model za simulaciju uključenja pojedinačnog trofaznog transformatora u PSCAD-u.

Simulacijom u PSCAD, Slika 3.1, za trofazni trostubni transformator 70 MVA dobijena je maksimalna struja uključenja 697 A. U slučaju bez zaostale indukcije dobijena je maksimalna struja uključenja 280 A, što je relativno dobro podudaranje rezultata analitičkog proračuna i simulacijom PSCAD-om.

Simulacijom u PSCAD-u za dva trofazna trostubna transformatora u paralelnom radu, dobijena je struja uključenja 755 A, u slučaju sa zaostalom indukcijom, i maksimalna „saosećajna“ struja uključenja od 285 A, u transformatoru koji je već bio u pogonu. Na slici 3.2 su grafički prikazani oblici struja, odakle se može zaključiti da „saosećajna“ struja ima manju amplitudu, ali duže trajanje od struje uključenja.

Navedeni problemi pri uključenju transformatoru mogu se izbjeći upravljanim uključenjem (eng, *PoW-Point of Wave switching*). U slučaju da je pad napona prilikom uljučenja veći od 3% ili 5%, koliko je propisano u regulativnim okvirima, sigurno se mora primeniti upravljano uključenje da bi se smanjili padovi napona.



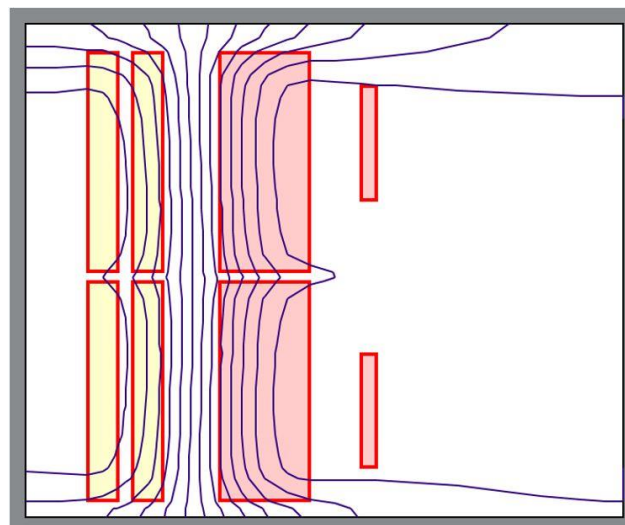
Slika 3.2. Struja uključenja i saosećajna struja transformatora u paralelnom radu- 70 MVA sa uticajem zaostalog fluksa.

4. KRATKI SPOJEVI TRANSFORMATORA

U ovom poglavlju biće razmatrani udarni kratak spoj i proračun reaktanse i sila kratkog spoja na transformatoru 70 MVA iz literature [3], koji je takođe korišćen u poglavlju uključenje transformatora.

Termičke posledice često nisu značajne jer su prelazni režimi kratkotrajni, te se porast temperature izračunava u skladu sa ustaljenom strujom kratkog spoja. Dinamičke posledice su veoma značajne, a kod provere mehaničke izdržljivosti se mora uzeti u obzir najveća trenutna vrednost struje kratkog spoja, gde se standardom SRPS EN 60076-5 [4] utvrđuju zahtevi u pogledu izdržljivosti transformatora pri kratkom spoju.

Osnovni problem pri određivanju reaktanse i sila kratkog spoja u transformatoru jeste određivanje rasipnog magnetnog polja u transformatoru, koje se unazad već decenija određuje numeričkim metodama. U radu je korišćen dvo-dimenzionalni aksijalno simetrični model, a numerički proračun je zasnovan na metodi konačnih elemenata, slika 4.1. Softver koji je originalno razvijen u programskom jeziku FORTRAN [5] za potrebe ovog rada preveden je u Excel VBA kod.



Slika 4.1. Raspodela magnetnog polja za primer iz VN-(NN1+NN2), dobijen primenom Metoda konačnih elemenata .

Izračunata vrednost reaktanse kratkog spoja, u osnovnom položaju regulatora napona, iznosi 13,95 %, što približno odgovara vrednosti datoj u literaturi (13,9 %).

U tabeli 4.1 date su vrednosti proračuna sila za primer iz literature.

Tabela 4.1 Maksimalne radijalne, aksijalne i ukupna aksijalna sila u namotajima

Namotaj	Maksimalna radijalna sila (N/mm)	Maksimalna aksijalna sila (N/mm)	Ukupna aksijalna sila (kN)
Namotaj NN1	-1274,4	2593,5	1211,4
Namotaj NN2	-1286,6	-2111,1	-1157,4
Namotaj VN	2134,9	-2587,0	1179,6

5. OPTEREĆENJE TRANSFORMATORA

U ovom poglavlju biće razmatrani termički prelazni režimi prilikom opterećenja uljnih transformatora nazivnim opterećenjem, kao i u slučaju preopterećenja, zasnovani na standardu 60076-7 [7]. Posmatra se dinamička termička sposobnost (DTS) zasnovana na dnevnom profilu proizvodnje/opterećenja. Za proračun preopterećenja ko-

ristiće se metoda eksponencijalnih jednačina i softverski alat koji je razvijen za diplomski rad [6].

Osnovni zadatak proračuna jeste određivanje najtoplije tačke namotaja, od koje zavisi brzina starenja transformatora. Matematički modeli predstavljeni u standardu IEC 60076-7 koriste se za procenu temperature gornjeg ulja u sudu i temperature najtoplije tačke u namotaju prilikom opterećenja transformatora, u zavisnosti od promene temperature okoline i struje opterećenja. Ovim metodom pretpostavlja se da je temperatura najtoplije tačke namotaja jednaka zbiru temperature okoline, povišenja temperature gornjeg ulja iznad temperature okoline i povišenja temperature najtoplije tačke namotaja iznad temperature gornjeg ulja.

Standard IEC 600676-7 daje prikaz dva metoda za proračun temperature najtoplije tačke namotaja:

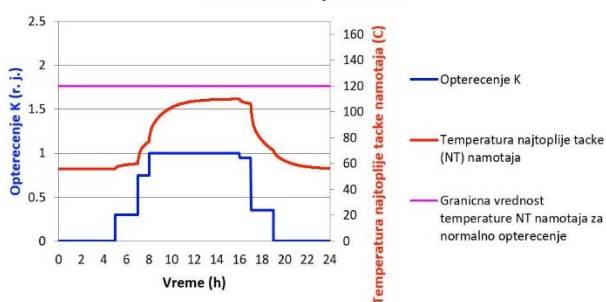
- Metod eksponencijalnih jednačina;
- Metodu diferencnih jednačina.

U radu je primenjena metoda eksponencijalnih jednačina i dat proračun za aktuelni primer iz prakse. U studijskoj fazi projekta, razmatra se mogućnost primene transformatora naznačene snage 600 MVA za solarnu elektranu na Bliskom istoku (jedan od tri identična transformatora u elektrani). Rezultati proračuna su temperatura ulja u najvišem sloju, temperatura najtoplije tačke namotaja i umanjenje životnog veka transformatora, prikazane tablično i grafički u Tabeli 5.1 i na Slici 5.1.

Tabela 5.1. Rezultati proračuna temperature najtoplije tačke namotaja i umanjenja životnog veka transformatora

Vreme na kraju svakog perioda (h)	Temperatura i umanjenje životnog veka na kraju svakog perioda						
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7
Opterećenje K (r. j.)	0.00	0.30	0.75	1.00	0.95	0.35	0.00
Terećenje	mirujuće	povećavajuće	povećavajuće	povećavajuće	smanjujuće	smanjujuće	smanjujuće
Početno povišenje temperature ulja (K)	3.8	3.8	6.2	15.0	39.9	38.2	16.2
Povišenje temperature gornjeg ulja (u sudu) (K)	3.8	6.2	15.0	39.9	38.2	16.2	4.3
Početno povišenje temp. najtoplije tačke 1 (K)	0.0	0.0	1.6	10.1	18.0	16.2	2.2
Povišenje temperature najtoplije tačke 1 (K)	0.0	1.6	10.1	18.0	16.2	2.2	0.0
Početno povišenje temp. najtoplije tačke 2 (K)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Povišenje temperature najtoplije tačke 2 (K)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Povišenje temperature najtoplije tačke (K)	0.0	1.6	10.1	18.0	16.2	2.2	0.0
Konačno povišenje temp. najtoplije tačke (K)	3.8	7.9	25.1	57.9	54.5	18.4	4.3
Temperatura gornjeg ulja (u sudu) (°C)	55.8	58.2	67.0	91.9	90.2	68.2	56.3
Temperatura najtoplije tačke namotaja (°C)	55.8	59.9	77.1	109.9	106.5	70.4	56.3
Umanjenje životnog veka (normalni dani)	0.00	0.00	0.00	0.24	0.27	0.27	0.28

Transformator 600 MVA OD hlađenje sa ciklusom 7 perioda



Slika 5.1. Promena temperature najtoplije tačke namotaja u zavisnosti od promene opterećenja.

Za ovaj primer iz prakse može se zaključiti da naznačena snaga transformatora zadovoljava definisanu dnevnu promenu opterećenja. Može da se uoči da postoji rezerva temperature najtoplije tačke od oko 10 °C.

6. ZAKLJUČAK

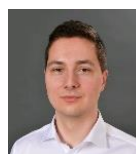
U radu su analizirani prelazni režimi prilikom uključanja, udarnog kratkog spoja i opterećenja tronamotajnih transformatora sa podeljenim namotajima, koji predstavlja tipično rešenje u fotonaponskim elektranama i baterijskim sistemima za skladištenje energije. U realizaciji ovog rada korišćeni su specijalizovani softverski alati, PSCAD za uključanje transformatora, a takođe i razvijeni su posebni algoritmi u EXCEL-u primenom VBA koda za uključanje, kratk spoj i opterećenje transformatora. Rezultati razvijenih algoritama su verifikovani poređenjem sa primerima iz literature. Za razvijene algoritme za opterećenje dat je kratak opis i uputstvo za rad, uključujući ulazno/izlazne podatke.

Doprinos ovog rada ogleda se u odgovarajućoj analizi potreba, zahteva, metoda i primena proračuna opterećenja transformatora, definisanju ulazno-izlaznih podataka proračuna, kao i razvoju odgovarajućeg algoritma zasnovanog na standardu IEC 60076-7.

7. LITERATURA

- [1] IEEE Std C57.159-2016 – *IEEE Guide on Transformers for Application in Distributed Photovoltaic (DPV) Power Generation Systems*.
- [2] R. Krishnan, *Transformer for Distributed Photovoltaic Generation*, Third International Conference (IEECCOT), 2018.
- [3] G. B. Kumbhar, S. V. Kulkarni: *Analysis of Short-Circuit Performance of Split-Winding Transformer Using Coupled Field-Circuit Approach*, IEEE Transactions on Power Delivery, 2007.
- [4] SRPS EN 60076-5:2008, *Energetski transformatori- Deo 5: Izdržljivost pri kratkom spoju*.
- [5] M. Milanković, *Numerički proračun sila u transformatoru u kratkom spoju, ETF Zagreb, 1986*
- [6] F. Milanković, *Terećenje energetskih transformatora potopljenih u mineralno ulje*, diplomski rad, FTN Novi Sad, 2021
- [7] IEC 60076-7:2011 *Power transformers- Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*.

Kratka biografija:



Filip Milanković rođen je u Novom Sadu 1998. god. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka na studijskom programu Energetik, elektronika i telekomunikacije, mosul elektroenergetski sistemi završio je 2021. godine.
kontakt: filip.milankovic@gmail.com



Dr Stevan Cveticanin rođen je u Bačkoj Palanci 1986. god. Doktorirao je 2017. god. na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, gde je i zaposlen, u kontinuitetu, od 2012. god, a trenutno je u zvanju vanr. profesora. Oblast interesovanja su mu modeliranje i prelazni procesi u elektrici.
kontakt: stevan.cveticanin@uns.ac.rs



РАЗВОЈ И АРХИТЕКТУРА GAME ENGINE ПОГОНА ИГРЕ

GAME ENGINE DEVELOPMENT AND ARCHITECTURE

Дејан Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – Главни предмет рада јесте истраживање и проучавање области развоја погона игре за креирање 2D и 3D рачунарских игара. На основу стечених информација и знања, имплементиран је и у раду представљен Game Engine погон игре, десктоп апликација за Windows оперативни систем посебно дизајнирана за креирање и руковање јединственим компонентама пројеката 3D игара, користећи C# и C++ програмске језике. Имплементација апликације и њене архитектуре детаљно су објашњене, уз свеобухватан преглед теоријске основе и тренутног стања у области развоја погона игара.

Кључне речи: Game Engine погон игре, 3D модел, погон за графику, MVVM, DLL

Abstract – The main subject of the Master's Thesis is to research and study the field of game engine development for creating 2D and 3D computer games. Based on the acquired information and knowledge, the Master's Thesis features Game Engine, desktop application for a Windows operating system that is specifically designed to create and handle the unique 3D games project components, using C# and C++ programming languages. The implementation of the application and its architecture are explained in detail, with a comprehensive overview of the theoretical basis and current situation in the field of game engine development.

Keywords: Game Engine, 3D models, graphics engine, MVVM, DLL

1. УВОД

Током развоја игара, први проблем са којим се развојни тимови суочавају, поред самог дизајна игре, јесте избор алата за развој. Осим избора алата, развојни тимови се сусрећу са бројним изазовима. Један од кључних фактора је оптимизација перформанси игре. Како би правилно функционисала и пружала задовољавајући доживљај корисницима, важно је осигурати да игра ради без застоја, посебно на различитим платформама и уређајима. Поред тога, дизајнирање ефикасне логике и механике захтева пажљиво планирање и имплементацију. Ефикасно управљање меморијом може побољшати перформансе игре и смањити потрошњу ресурса.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Гордана Милосављевић, ред. проф.

Узимајући све наведене изазове у обзир, тимови за развој игара често користе комбинацију алата, технологија и приступа како би постигли оптималне резултате. Балансирање између функционалности, флексибилности, брзине развоја и перформанси игре кључно је за стварање доживљаја који ће привући и задржати пажњу играча. Узимајући у обзир наведене факторе, за овај пројекат креиран је Game Engine погон игре. Представља комбинацију различитих елемената погона игара написаних у C++ и C# програмским језицима, како би се искористиле предности које ови програмски језици пружају, уз могућност слободног развијања игара у жељеном правцу.

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

2.1. Рачунарске игре, историјат и развој

Рачунарске игре историјски датирају из 1950-их година, када су научници почели да дизајнирају једноставне игре за рачунаре који су тада били у развоју. Данас, садржај рачунарских игара је невероватно разноврстан, и њихов утицај на друштво је значајан. Показало се да игре имају позитиван утицај на когнитивне функције, укључујући побољшану меморију, пажњу и способност решавања проблема. Такође, примењиве су у образовним сврхама, при чему многе школе користе игре како би подучавале предмете попут историје, науке и математике. Међутим, постоји и брига због потенцијалних негативних ефеката прекомерног играња, попут зависности и социјалне изолације. Са техничке стране представљају велики изазов за развојне тимове. Захтевају високе перформансе и оптимизацију. Осим тога, развојни тимови морају имати разумевање за дизајн, уметничке аспекте, музику и звук како би створили занимљив и привлачан доживљај за играче.

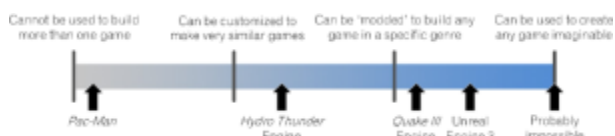
2.2. Развој игара

Развој игара је процес стварања видео игара, од почетног концепта до крајњег производа. Представља сложен и изазован процес, захтевајући дубоко разумевање технологије и принципа дизајна. Захтева широк спектар техничких и уметничких вештина, укључујући програмирање, дизајнирање, визуелну уметност, аудио инжењеринг, управљање пројектима и још много тога. Процес развоја игара обично почиње фазом концептуализације и дизајна, где развојни тимови одређују основну механику, причу, карактере и друге битне елементе. Фаза програмирања је срце развоја, где развојни тимови користе погоне игара за

имплементацију основних механика игре. Стварање звука је још један кључни аспект развоја, јер може значајно утицати на укупну атмосферу игре и доживљај играчима.

2.3 Погон игре

Погон или мотор игре [1] је кључна софтверска компонента интерактивних програма, која омогућава развојним тимовима креирање богатих и узбудљивих видео игре, смањујући време и потребне ресурсе чиме се значајно убрзава развојни процес. Пружа сет унапред дефинисаних алата, библиотека и функција за лакше дизајнирање, имплементацију и тестирање. Омогућава развојним тимовима да креирају комплексне и интерактивне светове игара са дефинисаним правилима игре, додајући им карактере, објекте, анимацију и физику која подсећа на реалан свет. Поред основних елемената попут графичког приказа за 2D и 3D графику, симулације физичких закона, звука, скрипти, анимација и умрежавања, погони игара пружају и могућност за коришћење вештачке интелигенције, детекцију судара и одговор на сударе. Пре погона игара, игре су обично биле стваране као јединствени ентитети, дизајниране од нуле. Услед појаве погона игара, развојни тимови уместо да логику игре имплементирају од нуле, лиценцирају основне делове софтвера и фокусирају се на дизајн сопствених ресурса игре. Поновно употребљиви погони игара омогућавају бржи и лакши развој, што је драгоцен предност у конкурентној индустрији видео игара. На слици 1, приказана је поновна употреба погона игара, који је представио Џејсон Грегори (Jason Gregory) у својој књизи „Game Engine Architecture, Second Edition“ [1].



Слика 1 - Граф поновне употребљивости погона игре који је представио Џејсон Грегори

Све компоненте у погону игре се граде и интегришу како би подржале циљеве развоја игара. Неке од најважнијих компонената су главни програм игре (енгл. *main game program*), уређаји за унос информација (енгл. *input devices*), погон за графику (енгл. *rendering engine*), погон за аудио (енгл. *audio engine*), вештачка интелигенција (енгл. *AI, artificial intelligence*), погон за физику (енгл. *physics engine*), и умрежавање (енгл. *networking*).

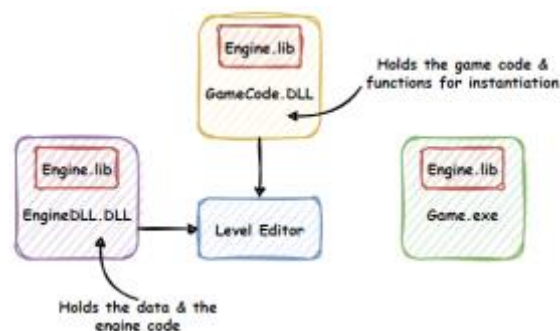
Један од највећих изазова са којима се суочавају развојни тимови погона игара су хардверска ограничења. Што је игра већа (било да се ради о већем броју објеката или сложенијој логици) погон игара мора обавити више рачунања, што захтева високо оптерећење CPU-а. Перформансе игре могу бити утицане брзином и количином доступне меморије на хард-диску (енгл. *HDD, hard disk drive*). У случају споријег HDD-а, може доћи до дужих времена учитавања објеката и саме игре. Још један фактор хардверског ограничења је количина и брзина RAM меморије (енгл. *random-access memory*). Неки развојни тимови одлучују да већину ресурса учитају у

RAM меморију како би убрзали процес учитавања. Међутим, за веће игре или игре са високом графичком резолуцијом, ово може бити изазов, јер захтева велике количине RAM меморије. Иако је циљ погона игара да омогући креирање више различитих игара, то није у потпуности оствариво. Свака нова игра која се развија на истом погону игре је само варијација претходне, а уколико развојни тимови желе да направе другачију врсту игре, мораће да прилагоде или додају нове функционалности у погон игре. Издавачи, суочени са снажном конкуренцијом на тржишту игара, често задржавају своја открића и алате за себе. Многи развојни тимови стварају интерна решења и алате за креирање погона игре, што отежава другима развојним тимовима да сазнају како су они развили своја решења. Ово ствара недостатак стандардизације у методама и праксама. Као резултат, нови развојни тимови морају сами да истражују како да креирају погон игре, јер не постоје универзалне смернице.

3. ПРИКАЗ ИМПЛЕМЕНТИРАНОГ РЕШЕЊА

3.1. Генерална архитектура Game Engine погона

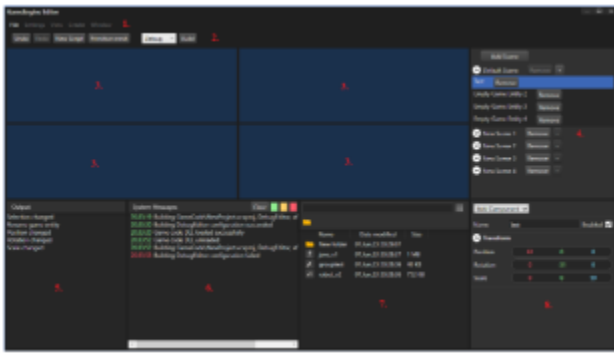
На слици 2, приказана је архитектура Game Engine погона игре. Главна компонента Game Engine погона игре је статичка библиотека погона (*Engine.lib*) која пружа све неопходне функционалности за покретање игре. Међутим, сама библиотека није довољна за креирање комплетног пројекта игре. Користи се и едитор нивоа (*Level Editor*) за изградњу корисничког интерфејса. Један од кључних елемената који олакшава комуникацију између погона игре и едитора нивоа су библиотеке динамичких веза [2]. Ове библиотеке омогућавају ефикасну размену функционалности и података између два дела Game Engine погона игре. Потребни су DLL погона (*EngineDLL.DLL*) и DLL кода игре (*GameCode.DLL*) како би се увезале функције из оба DLL-а у едитор нивоа ради њихове успешне комуникације.



Слика 2 - Архитектура Game Engine погона игре

3.2. Дизајн корисничког интерфејса едитора нивоа

На слици 3, приказан је едитор нивоа са свим својим компонентама интерфејса означеним бројевима од 1 до 8. Те компоненте су трака менија (1), трака са алатима (2), четири независна рендер екрана (3), прозор сцена и њихових ентитета (4), прозор за испис порука (5), прозор за системске поруке (6), претраживач садржаја (7) и, прозор својства селектованог ентитета сцене (8).



Слика 3 - Приказ едитора нивоа Game Engine погона

3.3. Пројекат – сцене – ентитети игре – компоненте

У процесу развоја игара пројекат, сцене, ентитети и компоненте игре имају важну улогу у организацији и структури игре као њени кључни концепти. На [слици 4](#), приказана је архитектура овог концепта унутар Game Engine погона игре. Пројекат је централни контејнер који садржи све податке и ресурсе игре, сцене дефинишу подручја за игру унутар саме игре, ентитети игре представљају интерактивне елементе, а компоненте пружају специфичне функционалности и понашања ентитетима.



Слика 4 - Архитектура игре креиране у Game Engine

3.4. Ентитети оријентисани на податке

Ентитети оријентисани на податке (енгл. *Data-Oriented Entity*) [3] је приступ организацији података у играма. У овој парадигми, фокус је на ефикасном складиштењу и обради података, са раздвајањем одговорности између података и понашања. Стварни подаци за сваки ентитет се складиште у одвојеним компонентама, које су структурисане колекције података. Нуди предности у погледу перформанси, оптимизацијом шаблона приступа подацима и манипулацијом фрагментације меморије. Овај систем се обично користи у сценаријима са великим бројем ентитета или када су перформансе кључни фактор. У Game Engine погону игре, овај приступ представља напредну верзију дизајна оријентисаног на податке, при чему су ентитети само листа индекса, без класа или сличних концепата (приказано на [слици 5](#)).



Слика 5 - Ентитети оријентисаних на податке у Game Engine погону игре

Овај приступ је додатно убрзао процес, смањујући оптерећење процесора и број пропуста кеш меморије.

3.5. Скрипте ентитета

Скрипта ентитета у Game Engine погону игре функционише као „мозак“ погона игре, дефинише понашање елемената игре. С обзиром да се ентитети излажу коду игре путем класа ентитета, оне се наслеђују како би се конструисала основна класа за све скрипте ентитета. Дакле, класа ентитета служи као основа за скрипту ентитета, која је темељ за све друге класе скрипти.

Све класе скрипти заједно чине код игре. Ове класе скрипти делују као компоненте ентитета у погону игре. Имплементацијом ове логике добија се архитектура где ентитет има једну скрипт компоненту која има показиваче на инстанце кодова скрипти складиштених негде у меморији.

3.6. Проточна обрада геометрије и ресурса

Компонента проточне обраде геометрије (енгл. *geometry pipeline*) у Game Engine погону игре је одговорна за трансформацију и приказивање објеката на екрану. Састоји се од низа фаза које манипулишу и обрађују геометријске податке како би се генерисала коначна слика. Геометрија може бити импортована као 3D модел креиран алатима за креирање ресурса. Импортовани модели се шаљу на процес обраде и паковања да би се креирао ресурс у формату који Game Engine погон игре може користити и чувати као датотеку ресурса у едитору нивоа. Проточна обрада ресурса (енгл. *asset pipeline*) обухвата скуп процедура и алата који се користе за управљање импортом, обрадом, оптимизацијом и интеграцијом различитих ресурса унутар Game Engine погона игре. Олакшава ефикасно управљање ресурсима током читавог процеса развоја игара омогућавајући развојним тимовима да одрже структурисан и ефикасан радни ток. Побољшава сарадњу између уметника и програмера као чланова развојних тимова, смањујући појаву грешака и повећава перформансе и визуелни квалитет ресурса унутар игре.

3.7. Проточна обрада Direct3D-a

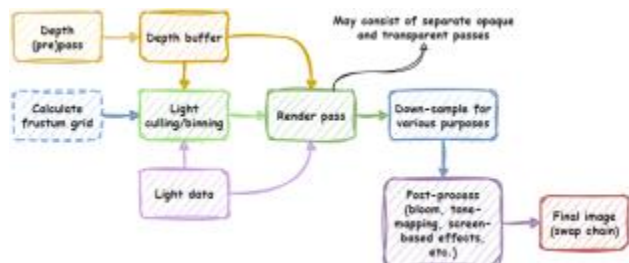
Direct3D [4] је графички интерфејс за програмирање апликација развијен од стране Microsoft-a. Користи се претежно за рендеровање тродимензионалне графике и креирање интерактивних мултимедијалних апликација, посебно у контексту развоја игара. Проточна обрада графике или ток графике (енгл. *graphics pipeline*) [5] назива се и проточна обрада Direct3D-a или ток Direct3D-a.

У Game Engine погону игре односи се на низ операција кроз које GPU пролази да би приказао 3D графику на екрану рачунара. Овај процес је описан као проточна обрада рендеровања са неколико различитих фаза, које трансформишу геометријске податке и текстуре у коначну слику која се рендерује.

3.8. Forward+ архитектура рендеровања

Реалистично осветљење сцене представља изазован, ако не и најизазовнији део рендеровања. Game Engine погон игре користи Forward+ [6] архитектуру осветљења у реалном времену ([слика 6](#)). Forward+ је техника рендеровања која комбинује Forward рендеровање са уклањањем попличаног светла како

би се смањило број светала који се морају узети у обзир током сенчења. Побољшава *Forward* рендеровање тако што прво одређује која светла се преклапају са којом површином у простору екрана. Током фазе сенчења, потребно је узети у обзир само светла која се „потенцијално“ преклапају са тренутним фрагментом. Састоји се од пролаза уклањања светлости (енгл. *light culling pass*), непрозирног пролаза (енгл. *opaque pass*), и транспарентног пролаза (енгл. *transparent pass*).

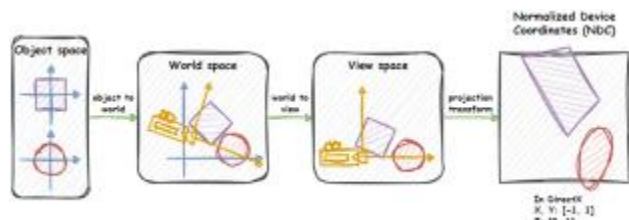


Слика 6 - *Forward+* архитектуре рендеровања у *Game Engine* погону игре

3.9. Трансформација објекта

Game Engine погон игре врши скуп различитих математичких операција трансформације објекта пре него што се објекти рендерују и прикажу на екрану (слика 7). Објекти су дефинисани на основу локалног координатног система који се заснива на простору објекта (*Object space*). Свако теме у 3D моделу има позицију која је релативна у односу на локалне координате објекта. Ова позиција у свету игре је трансформација света и често је комбинација трансформације, ротације и скалирања оригиналног објекта. После ове трансформације, за објекте се каже да се налазе у простору света (*World space*).

Неопходно је да *Game Engine* погон игре изрази позицију и оријентацију сваког објекта кроз координатни систем камере познат као простор погледа (*View space*) камере. Следећа фаза трансформације објекта је трансформација пројекције (*Projection transformation*) у којој погон игре сваку тачку у простору видљиву камери уноси у NDC. У овој фази погон игре компресује све објекте које камера види у оквиру. Оно што се види на равни оквира камере биће скалирано према величини оквира и приказано на екрану током растеризације.



Слика 7 - Приказ процеса трансформације објекта у *Game Engine* погону игре

3.9. FBX формат датотеке

FBX [7] је формат датотеке, који се првенствено користи за размену 3D модела, анимација и других података између различитих софтверских апликација. Сврха *FBX*-а је да обезбеди свестран и компатибилан формат датотеке, који пружа стандардизован начин за пренос сложених 3D асета између различитих

програма, без губитака важних података или визуелне вредности. Може садржати широк спектар података, укључујући геометрију, текстуре, анимацију скелета, материјале, мешање облика, светла, камере и још много тога. Омогућава очување хијерархије на различитим софтверским платформама, олакшавајући сарадњу развојних тимова. Користећи *FBX*, *Game Engine* погон игре може несметано делити ресурсе, поједностављујући радне токове и побољшавајући компатибилност у раду са другим погонима игара. У основи *FBX*-а лежи концепт графа сцене, служи као контејнер за све елементе. Граф сцене је изграђен на хијерархијској структури састављеној од *FBX* чворова (веза родитељ-дете) који представљају одређени елемент у сцени.

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду истражена је и описана комплексност процеса развоја погона игара и пажљиво деконструисана кроз два кључна поглавља. Објашњен је сложен дизајн и имплементација техничког решења са описом слојева развоја игара, како би се истакли основни темељи конструкције погона игара. Нуди увид у различите аспекте у оквиру развоја пружајући визуелну манифестацију концептуалног дизајна и имплементације кроз развој *Game Engine* погона игре.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Gregory, *Game Engine Architecture*, Second Edition, New York: A K Peters/CRC Press, 2014.
- [2] Microsoft, "What is a DLL," 04 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/troubleshoot/windows-client/deployment/dynamic-link-library>. [Accessed 07 2023].
- [3] D. Engelbrecht, "Building a Data-Oriented Entity System," 05 2017. [Online]. Available: <https://bitsquid.blogspot.com/search?q=Building+a+Data-Oriented+Entity+System>. [Accessed 08 2023].
- [4] Microsoft, "Direct3D," 09 2021. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/direct3d>. [Accessed 08 2023].
- [5] F. Giesen, "A trip through the Graphics Pipeline 2011," 07 2011. [Online]. Available: <https://fgiesen.wordpress.com/category/graphics-pipeline/>. [Accessed 08 2023].
- [6] Jeremiah, "Forward vs Deferred vs Forward+ Rendering with DirectX 11," 09 2015. [Online]. Available: <https://www.3dgep.com/forward-plus/>. [Accessed 08 2023].
- [7] Autodesk, "Adaptable file format for 3D animation software," 2023. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fbx/overview>. [Accessed 08 2023].

Кратка биографија:



Дејан Јовановић рођен је 1994. године у Лозници. Након средње школе, 2013. године уписује Факултет техничких наука у Новом Саду. Мастер академске студије на смеру Софтверско инжењерство и информационе технологије уписује 2020. године.

TROSLOJNA ARHITEKTURA KAO SOFTVERSKO REŠENJE SISTEMA ZA EVIDENCIJU RADA ZAPOSLENIH**THREE-TIER ARCHITECTURE AS A SOFTWARE SOLUTION FOR A WORK RECORD SYSTEM**

Ljubica Potrebic, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – u ovom članku opisana je implementacija i rad sistema za evidenciju rada zaposlenih. Radi se o troslojnom sistemu koji podrazumeva implementaciju klijentske i serverske strane, kao i kreiranje i upotrebu baze podataka koja se koristi za skladištenje istih. Projekat predstavlja pristup razvijanja web aplikacija upotrebom tehnologija kao što su Node.js i React, služeći se programskim jezikom JavaScript. Baza podataka koja se koristila je MongoDB, koja predstavlja nerelacionu bazu podataka. Podržane su funkcionalnosti kao što je logovanje administratora i radnika, dodavanje novih radnika, zadataka, omogućen je pregled aktivnih i završenih zadataka, isplaćivanje radnika prema kalendaru, uklanjanje radnika i zadataka, unos odrađenih sati u toku izabranog datuma, završavanje zadataka i uvid u personalne informacije.

Ključne reči: Web, JavaScript, Node.js, React, MongoDB

Abstract – This article describes implementation and functionality of work record system. It is a three-tier system that includes the implementation of the client and server side, as well as the creation and use of a database used for storage. The project represents an approach to developing web applications using technologies such as Node.js and React, using the JavaScript programming language. The database used is MongoDB, which is a non-relational database. Supported functionalities include administrator and worker login, adding new workers, tasks, viewing active and completed tasks, paying workers according to the calendar, removing workers and tasks, entering worked hours during the selected date, completing tasks and insight into personal information.

Keywords: Web, JavaScript, Node.js, React, MongoDB

1. UVOD

U cilju napredovanja poslovne zajednice neophodno je obezbediti uslove za olakšan rad, a to je najpre brza komunikacija između poslodavca i zaposlenog. Kao glavno sredstvo u toj komunikaciji koristi se internet, a preko interneta i web aplikacije koje su upravo alat za komunikaciju. Aplikacija za vođenje evidencije o zaposlenima omogućava upravo komunikaciju između poslodavca i zaposlenog, bez potrebe za fizičkim

prisustvom lica na istom mestu. Glavne omogućene funkcionalnosti su da je moguće zadavanje zadataka radnicima, dodeljivanje plata u zavisnosti od toga kako se radnik isplaćuje, uvid u zadatke na kojima se radnik nalazi, a takođe je omogućen i uvid u ukupnu zaradu koju je radnik ostvario tokom rada u firmi, čime se na dodatan način zaposleni motiviše da rade savesno.

Projekat je napravljen tako da se sastoji od dva osnovna bloka. Prvi blok predstavlja serversku stranu, čiji se naziv u praksi sreće kao *Back-end*. Server je baziran na Node.js platformi [1]. Za rad na platformi je korišćen JavaScript programski jezik. Serverska strana takođe obuhvata i nerelacionu bazu podataka MongoDB, gde se čuvaju svi podaci [2]. Drugi blok je klijentska strana, češće nazivana *Front-end*, gde se koristi React.js korisnički interfejs koji u sebi obuhvata upotrebu JavaScript jezika, HTML i CSS jezika za kreiranje i dizajniranje web stranica [3].

Realizovana je i *Android* aplikacija, napravljena upotrebom *React Native*, koja se takođe koristi na klijentskoj strani kao alternativno rešenje za *Front-end* klijentsku komponentu aplikacije. Ona svakako pomaže pri poboljšanoj komunikaciji između poslodavca i zaposlenog, pošto ne podrazumeva svaki posao rad na računaru.

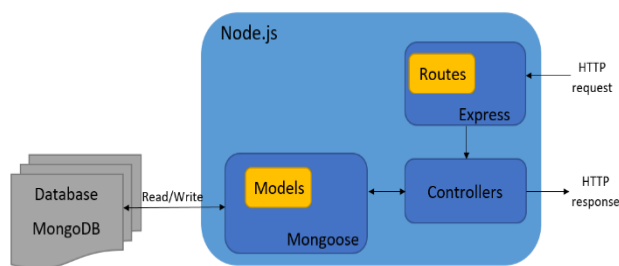
2. SISTEM

Poglavlje opisuje ključne aspekte i module sistema, uz teorijski osvrt.

2.1. Serverska strana

Entiteti koji sačinjavaju server su:

- Node.js – za pokretanje servera
- MongoDB – za upravljanje bazom podataka
- Express.js – za rutiranje
- Kontroleri – za obradu zahteva



Slika 1. Blok šema serverske strane

Node.js

Node.js jeste JavaScript platforma koja radi uz pomoć Google V8 Engine-a, što znači da ima odlične

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Predrag Teodorović, docent.

performanse, gde je najbitnija stavka brzina rada platforme. Svrha u koju se *Node.js* koristi je da omogućiti rad *Back-end* dela aplikacije bez korišćenja pretraživača (eng. *Browser*), te je korisničko iskustvo znatno poboljšano. Imajući u vidu prirodu *JavaScript*-a, svakako je neophodno da *Node.js* omogućava asinhroni rad *web* aplikacije, što je i učinjeno. Izvršavanje zahteva odvija se u samo jednom procesu, bez potrebe za kreiranjem novih niti (eng. *Thread*). Nije neophodno da se prethodni upit završi kako bi se izvršio novi – čim se dobije zahtev za izvršavanje upita, novi upit se izvršava, a čim se on završi, prethodni upit se izvršava počev od linije koda gde je prekinut. Na taj način se omogućava brz rad platforme bez dodatnog čekanja i blokiranja niti.

Kako bi korisničko iskustvo korišćenja *Node.js*-a bilo kompletno, neophodno je spomenuti i *Node Package Manager* – *npm*. Radi se o ugrađenoj podršci koja služi za dobavljanje i skladištenje spoljašnjih *Node.js* paketa koji služe za olakšani i brži rad na samoj platformi. Uz instalaciju *Node.js*-a automatski dolazi i *npm*. Najčešći način interakcije sa *npm*-om je preko komandne linije, odnosno preko terminala, gde je neophodno ukucati odgovarajuću *npm* instalacionu komandu, nakon čega se paketi preuzimaju i smeštaju u listu zavisnosti (eng. *Dependency*) u datoteku *package* koja na kraju ima *json* ekstenziju. Paketi koji su se koristili na serverskoj strani su sledeći:

- *Mongoose* – za rad sa *MongoDB* bazom podataka
- *Express* – za rutiranje
- *Cors* – za ograničavanje pristupa podacima sa drugih servera

MongoDB

MongoDB je baza podataka koja se koristi za smeštanje i čuvanje podataka dobijenih sa serverske strane. S obzirom da je za funkcionalnost serverske strane zaslužan *Node.js*, korišćen je paket *Mongoose* za pristupanje navedenoj bazi podataka i manipulacijom istih. Radi se o paketu koji ima izuzetno jednostavan interfejs za modeliranje podataka objekata (eng. *ODM* – *Object Data Modeling*). Koristi se kao sprega između objekata u kodu i njihove reprezentacije u bazi podataka. *MongoDB* spada u vrstu nerelacionih baza podataka, odnosno *NoSQL* baza. Predstavlja dokumentacionu bazu podataka gde se podaci smeštaju u *JSON* formatu.

Express

Express predstavlja jedan od paketa *Node.js*-a koji služi za rad sa *HTTP* zahtevima koji pristižu sa klijentske strane. Koristi se i u svrhu interakcije između serverske strane i baze podataka, gde server šalje odgovarajući zahtev ka modelu kako bi se izvršila odgovarajuća operacija nad bazom podataka. Za rad su korišćene dve metode, a to su *GET* i *POST* metode.

Ka serveru pristižu različite vrste upita od strane klijenta, te je neophodno da se oni klasifikuju radi bolje preglednosti i funkcionalnosti. U te svrhe se kreiraju putanje, odnosno rute (eng. *Routes*) za tačno određene krajnje tačke (eng. *Endpoint*). Na samom početku razvoja, početna putanja definisana je kao <http://localhost:3001> i ova putanja podrazumeva da se rad obavlja na mašini koja je povezana na lokalnu mrežu. Za ostale uređaje bi bilo

neophodno proslediti konkretnu *IP* adresu uređaja na kojoj je server aktivan, umesto *localhost* ključne reči. Rute služe za slanje zahteva dobijenih od klijentske strane ka odgovarajućim kontrolerima, koji dalje izvršavaju željenu funkcionalnost.

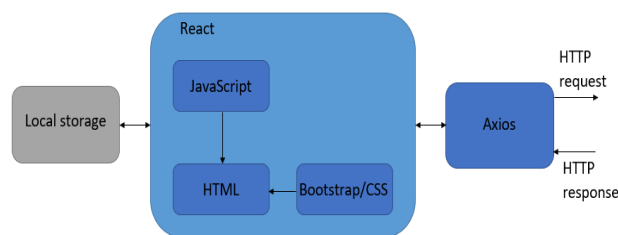
Kontroleri

Kontroleri se koriste u svrhu komunikacije između servera i baze podataka. Komunikacija se obavlja tako što kontroleri preko modela šalju odgovarajuće upite ka bazi. Kreiranjem upita definišu se uslovi koje je potrebno ispuniti kako bi se kao odgovor od baze dobili željeni podaci. Za primer se može navesti dodavanje novog zaposlenog na *web* stranici. Na početku je neophodno popuniti sve podatke na klijentskoj strani, kao što su ime, prezime, datum prijema u firmu, način isplate i plata u zavisnosti od načina isplate. Zatim se ti podaci smeštaju u *HTTP* zahtev ka ruti na serverskoj strani <http://localhost:3001/home-admin/newEmployee>, koji potom server preuzima i prosleđuje odgovarajućem kontroleru. Kontroler na kraju ima zadatak da ispuni željenu funkcionalnost, pri čemu će na pravilan način interagovati za bazom podataka, a potom i poslati povratnu informaciju o izvršenju zadatka.

2.2. Klijentska strana

Klijentska strana zapravo predstavlja korisnički interfejs gde korisnik šalje određene upite serveru. U svrhe realizacije klijentske strane, korišćena je *React* biblioteka. Preduslov za kreiranje *React* dela aplikacije je upotreba *npm*-a, koji se koristio i na serverskoj strani. Glavni entiteti korišćeni na klijentskoj strani su sledeći:

- *React* – osnova za kreiranje korisničkog interfejsa
- *Bootstrap* – za izgled korisničkog interfejsa
- *Axios* – za slanje *HTTP* zahteva



Slika 2. Blok šema klijentske strane

React

React predstavlja biblioteku za izradu korisničkih interfejsa i omogućava kreiranje aplikacije koristeći *JavaScript*. Uvodi sintaksu ekstenziju za *JavaScript* pod nazivom *JSX* (eng. *JavaScript Syntax Extension*). Navedena ekstenzija omogućava pisanje *HTML* elemenata u *JavaScript*-u, pri čemu se vrši konverzija *HTML* elemenata u *React* elemente, a takođe je omogućeno pisanje *HTML* strukture i *JavaScript* koda u okviru iste datoteke. Za upravljanjem elementima koriste se komponente. Objekti mogu biti jednostavne strukture, ako koriste samo elemente, a mogu biti i složene ukoliko koriste skup više različitih elemenata za kreiranje jedinstvene komponente. Za izgled korisničkog interfejsa se uz *HTML*, koji se koristi za definisanje strukture i sadržaja, dodatno može kombinovati i *CSS*. Radi se o jeziku formatiranja pomoću

kog se definiše izgled elemenata *web* stranice. Sintaksa CSS-a je takva da opisuje izgled elemenata u dokumentu. Opis može da definiše više elemenata, a moguće je i da više opisa bude vezano za jednu komponentu, primenjujući svoj sadržaj da bi se formirao konačni izgled jednog elementa.

Bootstrap

Bootstrap predstavlja *framework* otvorenog koda koji koristi kombinaciju *HTML*-a, *CSS*-a i *JavaScript*-a. Razvijen je sa ciljem da omogući i olakša razvoj *web* formi kao što su interfejs ili *layout*, kao i razvoj naprednih *web* komponenti. Njegova glavna upotrebna vrednost ogleda se u izgledu korisničkog interfejsa. Radi se o kolekciji *CSS* i *JavaScript* alata i biblioteka. Modularnog je tipa, te je moguća i izmena komponenti ukoliko programer želi da ubaci dodatne funkcionalnosti vezane za sam interfejs. Osim što omogućava i olakšava integrisanje raznih komponenti, predstavlja i odličnog „saradnika“ u radu sa *jQuery* bibliotekama.

3. FUNKCIONALNOSTI

Poglavlje predstavlja opis ključnih funkcionalnosti korišćenih u izradi *web* aplikacije.

3.1. Prijavljivanje korisnika

Na početnoj strani *web* aplikacije prikazan je interfejs za prijavljivanje korisnika. Preduslov za prijavljivanje korisnika je da prethodno budu upisani u bazu podataka. Nakon unošenja korisničkog imena i lozinke, neophodno je izabrati i odgovarajuću ulogu – *Administrator* ili *Employee*, pri čemu ako se izabere pogrešna uloga, korisnik neće biti pronađen u bazi podataka i ispisaće se odgovarajuća poruka koja će naglasiti da uneseni korisnik ne postoji.

Nakon unosa ispravnog korisničkog imena i lozinke, klikom na dugme *Login* prelazi se na narednu stranu, koja će zavisiti od toga da li je uloga korisnika *Administrator* ili *Employee*. Ukoliko je izabrana uloga *Administrator*, prelazi se na početnu stranicu administratora, gde se nalaze *tab*-ovi sa odgovarajućim namenama. U suprotnom, ako je izabrana uloga *Employee*, prelazi se na početnu stranicu zaposlenog, gde zaposleni ima *tab*-ove sa drugačijom namenom u odnosu na administratora. Logovanjem korisnika čuvaju se korisnički podaci na *Local Storage*-u, kako bi se znalo ko je ulogovani korisnik. Podaci se čuvaju u vidu korisničkog imena i uloge.

3.2. Dodavanje novog zaposlenog

Podrazumevani *tab* na administratorskoj strani je *tab Add new employee*, gde je neophodno uneti ime, prezime, datum rođenja, broj telefona, datum prijema u firmu, šifru, tip zarade (da li se zaposleni isplaćuje prema satu, danu ili mesecu), zaradu u zavisnosti od tipa zarade i broj radnih sati koje radnik treba da uradi tokom radnog dana. Korisničko ime se generiše automatski nakon unosa imena i prezimena. Ukoliko su sva polja popunjena, klikom na dugme *Add new employee* šalje se zahtev serveru za upis novog zaposlenog u bazu podataka. Ispunjavanjem uslova, koji podrazumevaju da ne postoji korisnik sa istim korisničkim imenom, novi korisnik se dodaje u bazu podataka. U suprotnom, neophodno je promeniti korisničko ime novog zaposlenog.

3.3. Dodavanje novog zadatka

Naredni *tab* je *tab Add new task*, koji služi za dodavanje novog zadatka. Na početku je neophodno uneti naziv zadatka, potom se iz padajućeg menija biraju zaposleni koji će izvršiti dati zadatak, i njihovim odabirom se njihovo korisničko ime smešta u polje za odabrane zaposlene kako bi izbor bio pregledniji.

Ukoliko se poslodavac pak odluči da ne želi da neko od odabranih zaposlenih radi na zadatku, može ga jednostavno obrisati iz polja za odabrane zaposlene. Potrebno je odrediti i da li za zadatak postoji jednokratni bonus koji će se isplaćivati radnicima.

Klikom na jedno od dugmadi *yes* ili *no* se određuje da li postoji bonus, te ako bonus postoji, javlja se dodatno polje koje služi za unos novčanog iznosa jednokratnog bonusa. Na kraju, klikom na dugme *Add new task* serveru se šalje upit za kreiranje novog taska.

3.4. Uvid u listu zaposlenih

Sledeći *tab*, *List of employees*, namenjen je prikazu informacija o odabranom zaposlenom. Odabir zaposlenog lica se vrši iz padajućeg menija, klikom na korisničko ime zaposlenog. Nakon toga se u poljima izlistavaju informacije kao što su ime i prezime, korisničko ime, datum prijema u firmu, zarada i tip zarade, a takođe se izlistavaju i aktivni i završeni zadaci radnika, gde se prikazuje ocena koju je radnik dobio na zadatku ukoliko je ocenjen za taj zadatak.

3.5. Uvid u listu aktivnih zadataka

Nakon liste zaposlenih, neophodno je prikazati i zadatke koji nisu završeni, a to se čini odabirom *tab*-a *Active tasks*. Moguće je odabrati zadatak klikom na dugme sa njegovim imenom. Izlistaće se osnovne informacije, kao što su ime zadatka, da li postoji bonus za dati zadatak, ukoliko bonus postoji prikazaće se informacija koliko iznosi bonus, i naravno izlistaće se radnici koji rade na datom zadatku.

3.6. Uvid u listu završenih zadataka i ocenjivanje radnika

Pored liste aktivnih zadataka, podrazumeva se i prikaz liste završenih zadataka, koja se nalazi na *tab*-u *Finished tasks & Rate employee*. Klikom na odabrani završeni zadatak prikazuju se slične informacije kao i kod aktivnih zadataka, uz izmenu da je moguće odabrati zaposlenog koji će se oceniti za dati zadatak. To se čini klikom na njegovo korisničko ime, te se popunjavaju osnovne informacije o datom radniku.

Ocenjivanje radnika vrši se klikom na jedno od dugmadi, koji su označeni brojevima između 1 i 5. Dodatna opcija koja nije obavezna je da se ostavi poruka za radnika u polju *note*. Ukoliko radnik nije prethodno ocenjen za taj zadatak, klikom na dugme *Rate employee* radnik se uspešno ocenjuje i podaci se upisuju u bazu podataka.

3.7. Dodeljivanje plata

Jedan od najbitnijih *tab*-ova jeste *Salaries* koji služi za dodeljivanje plata radniku. Odabirom zaposlenog izlistavaju se njegove osnovne informacije, potom je neophodno kliknuti na polje za odabir datuma, gde se odabira datum za isplaćivanje radnika. Ukoliko je datum obeležen crvenom bojom, znači da radnik nije uneo

odrađenu satnicu za taj dan, te se radnik u tom slučaju ne može isplatiti. Ukoliko je datum obeležen žutom bojom, to znači da je radnik uneo odrađenu satnicu za taj dan ali nije isplaćen. Jedino se u tom slučaju radnik može isplatiti za odabrani datum. U poljima ispod će biti prikazana satnica koju je radnik obavio tog dana i proračunata plata u tom slučaju. Klikom na dugme *Pay employee*, zaposleni se isplaćuje. Poslednji slučaj koji se može videti u kalendaru jeste da je datum obeležen zelenom bojom, što znači da je radnik isplaćen za taj dan i nije moguće ponovno isplaćivanje radnika. Ukoliko je radnik plaćen na mesečnom nivou, prikaz i isplaćivanje se menjaju u smislu da se prikazuje ukupna satnica koja je odrađena za taj mesec i izračunata plata u tom slučaju. Poslodavac ne može da isplati mesečnu platu ako mesec nije završen. Takođe, ako je radnik uneo satnicu za manji broj dana nego što je predviđeno, biće isplaćen za ceo mesec u zavisnosti od broja odrađenih sati i radnik više neće biti u mogućnosti da unosi odrađene sate za taj mesec.

3.8. Uklanjanje zaposlenih

Odabirom zaposlenog izlistavaju se osnovne informacije na osnovu kojih se odlučuje da li će radnik biti uklonjen. Klikom na dugme *Remove employee*, zaposleni se briše iz baze podataka svuda gde se prethodno nalazio, pri čemu se briše iz zadataka koje je prethodno radio.

3.9. Uklanjanje zadataka

Logično je da pored uklanjanja zaposlenih postoji i uklanjanje zadataka. Odabirom zadatka se prikazuju osnovne informacije o zadatku, a klikom na dugme *Remove task*, zadatak se efikasno uklanja iz baze podataka.

3.10. Pregled osnovnih informacija zaposlenog

Ako je korisnik koji se ulogovao zaposleni, dolazi na početnu stranicu za zaposlene, gde je podrazumevani *tab Personal information*. Tu se izlistavaju sve informacije ulogovanog zaposlenog lica, uključujući i ukupna dosadašnja primanja, što može da pruži podsticaj zaposlenom da radi kvalitetno i savesno, a to svakako ide u prilog firmi u kojoj je radnik zaposlen.

3.11. Pregled aktivnih zadataka zaposlenog

Kako je neophodno videti aktivne zadatke sa serverske strane, tako je potrebno videti ih sa klijentske strane. Odabirom *tab-a Your active tasks* izlistavaju se svi zadaci za koje je odabran ulogovani korisnik. Mogu se videti osnovne informacije zadatka, kao i zaposleni koji su odabrani za zadatak. Za razliku od serverske strane, na klijentskoj strani zaposleni ima mogućnost da završi zadatak klikom na dugme *Finish task*, čime se zadatak premešta na listu završenih zadataka.

3.12. Pregled završenih zadataka zaposlenog

Na *tab-u Your finished tasks* mogu se videti svi gotovi zadaci na kojima se nalazio ulogovani korisnik. Ukoliko je zaposleni ocenjen za dati zadatak, prikazaće se i ocena koja je dobijena na zadatku, a ako je uneta i beleška o radniku od strane poslodavca, ona će takođe biti vidljiva radniku.

3.13. Unos odrađenih sati

Kako je na serverskoj strani najbitnije dodeljivanje plata zaposlenima, tako je na klijentskoj strani najbitnije da

zaposleni unese odrađene sate za odgovarajući dan. To se čini klikom na *tab Enter worked hours*, gde zaposleni ima uvid o informacijama koje se tiču njegove zarade. Na sličan način kao i kod dodeljivanja plata, neophodno je kliknuti na dugme kako bi se otvorio kalendar. Zaposleni može da unese odrađene sate samo za datume obeležene crvenom bojom, odnosno kada nisu prethodno uneseni odrađeni časovi. U slučaju da je unos sati već odrađen, datumi su obeleženi žutom bojom i nije moguće uneti sate za taj dan iznova. Takođe se odrađeni sati ne mogu uneti za dane kada je radnik plaćen, gde se ti dani u kalendaru obeležavaju zelenom bojom.

3.14. Odjavljivanje korisnika

Poslednja, ali ne manje bitna funkcionalnost koju treba spomenuti jeste odjavljivanje korisnika, koja se i kod administratora i kod zaposlenog obavlja pritiskom dugmeta *Log Out*. Nakon toga se iz *Local Storage*-a brišu prethodno sačuvano korisničko ime i uloga, vraćajući se na osnovnu putanju gde se korisnik prijavljuje.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodnog izlaganja, izvodi se zaključak da je sistem baziran na primeni klijent-server komunikacije sa praktičnom primenom uspešno realizovan. Projekat je podrazumevao razvijanje web sajta koristeći jedan od najaktuelnijih jezika za razvoj, a to je *JavaScript*, uz upotrebu *Node.js*-a, *React*-a i paketa koje oni pružaju. Mesta za napredak ima mnogo, a navode se samo neki od predloga za poboljšanje rada aplikacije:

- Uvođenje evidencije o zaradi na mesečnom i dnevnom nivou
- Uvođenje obaveštenja za zaposlene radi brže komunikacije između poslodavca i zaposlenog
- Uvođenje odabira radnih dana, kao i slobodnih dana vikendom, uvođenje godišnjeg odmora i mogućnost bolovanja, gde bi se plaćanje radnika vršilo shodno situaciji
- Prelazak sa *HTTP* na *HTTPS* protokol radi sigurnosti i bezbednosti podataka na web stranici

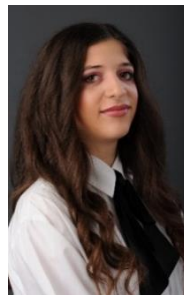
5. LITERATURA

[1] SHAH, DHRUTI NA. *Node .JS*. BPB PUBLICATIONS, 2018.

[2] Amit Phaltankar, Juned Ahsan, Michael Harrison, Liviu Nedov. *MongoDB Fundamentals*. Packt Publishing Ltd, December 2020.

[3] Cory Gackenhaimer. *Introduction to React*. Apress, 2015.

Kratka biografija:



Ljubica Potrebić rođena je u Novom Sadu 1999. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo – Primenjena elektronika odbranila je 2022. god.

kontakt: potrebicljubica@gmail.com

ПРИМЕНА АЛАТА И ПРАКСИ АУТОМАТИЗАЦИЈЕ У DEVOPS МЕТОДОЛОГИЈИ USAGE OF AUTOMATION TOOLS AND PRACTICES IN DEVOPS METHODOLOGY

Лука Милетић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – Задатак рада представља анализу DevOps методологије и употребу алата за аутоматизацију, контејнеризацију и пружалаца услуга у облаку. Решавани проблем представља аутоматизацију развоја и испоруке апликације дигиталне библиотеке. Проблем је решен коришћењем Terraform алата за инфраструктуру, Docker алата за контејнеризацију апликације и AWS услуга у облаку. Резултат решења представља успешно креирану инфраструктуру у облаку, аутоматски процес интеграције и испоруке софтверског решења и приступ апликацији од стране крајњих корисника.

Кључне речи: DevOps, континуирана интеграција и испорука, контејнери, AWS, Terraform

Abstract – The paper involves an analysis of the DevOps methodology and the use of automation tools, containerization, and cloud service providers. The problem pertains to automating the development and delivery of a digital library application. The problem is solved using Terraform infrastructure as code tool, application containerization with Docker, and cloud services from AWS. The result of the solution represents the successful creation of cloud infrastructure, an automated process of software solution integration and delivery, and end-user access to the application.

Keywords: DevOps, continuous integration and deployment, containers, AWS, Terraform

1. УВОД

У свету развоја софтвера, DevOps (Development Operations) је трансформативна парадигма која омогућава тимовима да интегришу и спајају свој развојни рад често и аутоматизовано. Ова промена у начину развоја софтвера подразумева сарадњу, агилност и аутоматизацију између тимова за развој и операције. DevOps нуди алате за аутоматизацију и користи услуге у облаку како би убрзао и поједноставио процес развоја. Ово доводи до бржег пласмана на тржиште, вишег квалитета и ефикаснијег управљања трошковима. Примена методологија континуираних интеграција и испоруке (CI/CD) постала је стандард у индустрији. Ова методологија омогућава брз одговор на промене на тржишту и бржу испоруку софтверских производа. У овом раду, истражујем се улога DevOps пракси, аутоматизације и облачних услуга у развоју софтвера и њихова примена на реалном примеру.

НАПОМЕНА:

Овај рад пронишао је из мастер рада чији је ментор био др Жељко Вуковић, доцент.

2. DEVOPS

Постоји погрешно разумевање развоја софтвера, где се сматра да се оно састоји само из тимова који искључиво производе софтвер. Такав софтвер се не интегрише у потпуности са захтевима данашњих система. Оперативни кадар представља кључ решења овог проблема, који се састоји од способних инжењера, специјализованих за посматрање датог система као јединствену апстрактну јединицу. Они размишљају о захтевима које системи испуњавају, креирају инфраструктуру око датог система, имплементирају безбедносне механизме, постављају протоколе за опоравак од катастрофе и избацују редундантност у задацима развијања софтвера. Решење датог проблема се појавило у виду области софтверског инжењерства, које представља спрегу између оперативних тимова и тимова задужених за развијање софтвера [1].

Резултати компанија које су усвојиле DevOps праксе су невероватне. На пример, компанија Nordstorm је након усвајања ових пракси успела да повећа број функционалности испоручених на месечном нивоу за 100%, смањи дефекте за 50%, смањи време од смишљања идеје до покренутог кода у продукцији за 60% и смањи број продукционих инцидената за 60% до 90%. Након усвајања DevOps пракси у Laserjet Firmware дивизији компаније HP, програмерско време проведено на развијању нових функционалности се повећало са 5% на 40%, док су целокупни трошкови развијања смањени за 40%. Etsy је искористио DevOps праксе да пређе са стресних, нередовних испорука, на испоручивање софтвера 25 до 50 пута дневно [2].

2.1. Континуирана интеграција

Континуирана интеграција (CI) представља праксу развоја софтвера у којој се измене у коду интегришу у заједнички репозиторијум кода на редовној основи. Главни циљ ове методологије је откривање и решавање интеграционих проблема и грешака у раним фазама развоја софтвера. Централни принципи и компоненте CI укључују: аутоматизовану изградњу и тестирање, честу интеграцију измена у коду, системе за контролу верзија, тренутну повратну информацију, изолацију грешака, одржавање конзистентности кода, генерисање документације и ценовод испоруке. Ови принципи помажу у убрзавању развоја софтвера и осигуравању квалитета кода, чиме се подстиче ефикасност и успешност развојних пројеката [3].

2.2. Континуирана испорука

Континуирана испорука (CD) представља стратегију развоја софтвера која аутоматизује процес објављивања

вања софтверских измена корисницима. Главни принципи укључују аутоматизацију, честа објављивања, континуално тестирање, праћење и повратне информације, повратак и напредак, сарадњу и смањење ризика. Ово омогућава брзе и контролисане објаве измена, што доприноси квалитету и способности за адаптацију на измене захтева и повратне информације корисника [3].

2.3. Алати за управљање конфигурацијом

Алати за управљање конфигурацијом, као што су Chef, Puppet и Ansible, играју важну улогу у инсталацији и управљању софтвером на серверима. Постоје два приступа у дефинисању и управљању инфраструктурним ресурсима: декларативна и императивна конфигурација. У декларативној конфигурацији се спецификује жељено стање инфраструктуре, а алат сам одлучује како да га постигне и остаје идемпотентан. Императивна конфигурација дефинише инструкције корак по корак и обично захтева од аутора конфигурације да обезбеди идемпотентност.

2.4. Алати за креирање контејнера и виртуелних окружења

Алати као што су Docker, Packer и Vagrant постају суштински у DevOps праксама. Они служе за креирање слика сервера које енкапулирају комплетан оперативни систем, софтвер и друге релевантне детаље. Постоје две главне категорије алата за рад са сликама: виртуелне машине и контејнери. Виртуелне машине емулирају комплетан рачунарски систем, обезбеђујући потпуну изолацију од домаћина, али са великим трошковима у процесорској моћи и меморији. Насупрот томе, контејнери емулирају кориснички простор оперативног система и обезбеђују брже покретање и мање захтеве за ресурсима, али са нижим нивоом изолације и безбедности. Docker и CoreOS rkt су алати за дефинисање контејнерских слика.

2.5. Алати за оркестрацију контејнера

Управљање виртуелним машинама и контејнерима представља кључни аспект инфраструктуре, а за обављање различитих задатака у вези са њима неопходни су одређени алати и стратегије. Ови задаци укључују испоруку нових инстанци, ажурирање, праћење здравља, скалирање, балансирање оптерећења и могућност комуникације међу њима. Управљање свим овим аспектима обично се постиже коришћењем алата за оркестрацију као што су Kubernetes, Marathon/Mesos, Amazon Elastic Container Service (Amazon ECS), Docker Swarm и Nomad.

2.6. Алати за креирање инфраструктуре

Алати за управљање конфигурацијом служе за дефинисање кода који треба извршити на серверима, док алати за креирање инфраструктуре обављају задатак креирања различитих инфраструктурних ресурса. Terraform се истиче као велики играч са широком подршком за облачне услуге и декларативним приступом. Pulumi омогућава флексибилност у избору програмског језика, док је CloudFormation највише везан за AWS и користи YAML за конфигурацију. Terraform се наглашава као најпоузданији избор за аутоматизацију инфраструктуре, Pulumi за бржи

почетак и флексибилност у избору језика, док је CloudFormation прикладан за AWS кориснике који не планирају миграцију на друге пружаоце услуга у облаку [4].

3. АРХИТЕКТУРА ИНФРАСТРУКТУРНОГ РЕШЕЊА

Ово поглавље се бави архитектуром инфраструктурног решења апликације дигиталне библиотеке. Најпре ће бити речи о AWS пружаоцу услуга у облаку, затим ће бити описане коришћене компоненте и услуге. На крају је објашњено како ове компоненте функционисау заједно, формирајући инфраструктурно решење.

3.1. AWS пружалац услуга у облаку

Рачунарство у облаку има различите дефиниције, али се у основи односи на пружање апликација и података на удаљеним облацима, обезбеђујући лак и флексибилан приступ. Облаци се деле на приватне, јавне и хибридне, у зависности од окружења, и на услуге као инфраструктуру (IaaS), платформу (PaaS) и софтвер (SaaS). AWS, као водећи провајдер рачунарства у облаку, истиче се по својим услугама које наглашавају приватност, интегритет и доступност података корисника. AWS омогућава лак приступ ресурсима и скалирање потреба корисника, што доприноси ефикасном развоју и оптимизацији трошкова.

У наставку ће бити описане специфичне AWS компоненте и услуге, коришћене за инфраструктурно решење.

VPC - Amazon виртуелни приватни облак је кључни сервис који омогућава корисницима да креирају безбедна и изолована мрежна окружења за своје AWS ресурсе. VPC доноси више предности, укључујући изолацију, детаљну контролу мрежних поставки, висок ниво сигурности, опције за повезивање са локалном инфраструктуром, контролу приступа интернету, скалабилност и могућност дизајнирања подмрежа.

API Gateway - Amazon API Gateway представља моћан и комплексан сервис који олакшава креирање, управљање и испоруку апликативних програмских интерфејса (API-ја) у AWS облаку. Он нуди бројне функционалности, укључујући креирање и управљање API-јима, безбедност, контролу саобраћаја, мониторинг и интеграцију са другим AWS услугама.

Application Load Balancer - Amazon Application Load Balancer (ALB) је услуга која омогућава ефикасно балансирање и рутирање долазног саобраћаја апликације на различите мете. Ова услуга ради на апликативном слоју и нуди низ функционалности које укључују: интелигентно усмеравање саобраћаја, груписање мета, интеграцију са контекстом контејнера, безбедносне функције и скалабилност.

Elastic Container Service - Amazon Elastic Container Service (Amazon ECS) је AWS услуга за управљање контејнерима која олакшава развој и извршавање Docker контејнера. Она пружа функционалности за управљање контејнерима и кластерима, дефиницију задатака за апликације, балансирање оптерећења, аутоматско скалирање, интеграцију са AWS Fargate и услугама за ауторизацију. Amazon ECS омогућава

развојним и операционим тимовима да управљају апликацијама у контејнерима без потребе за директним управљањем инфраструктуром.

CloudWatch - Amazon CloudWatch представља моћну AWS услугу за надгледање и управљање ресурсима и апликацијама у реалном времену. Ова услуга омогућава прикупљање и складиштење информација о перформансама, мониторинг у реалном времену, постављање аларма, праћење логова и интеграцију са другим AWS услугама. CloudWatch пружа корисницима детаљан увид у рад њихових AWS окружења и обезбеђује механизме за реаговање на догађаје и трендове.

Relational Database Service - Amazon Relational Database Service (Amazon RDS) је услуга која олакшава управљање и ширење релационих база података на AWS облаку. Она нуди избор између различитих драјвера база података и пружа високу расположивост, аутоматске бекапе и безбедносне функције. Корисници могу лако пратити перформансе и ширити своје базе података, а Amazon RDS се бави рутинским задацима одржавања, омогућавајући им да се фокусирају на развој апликација.

Elastic Container Registry - Amazon Elastic Container Registry (Amazon ECR) је услуга за регистровање контејнера која обезбеђује безбедан и скалабилан репозиторијум за слике Docker контејнера. Интегрише се са AWS услугама, омогућава управљање животним циклусом слика и пружа контролу приступа и безбедност. Корисници плаћају само за коришћени простор и пренос података, следећи модел плаћања по коришћењу

CodePipeline - AWS CodePipeline је услуга за континуирану интеграцију и континуирану испоруку (CI/CD) која аутоматизује различите фазе изградње, тестирања и испоруке софтверских издања. Она обезбеђује развојним тимовима могућност да ефикасно и безбедно испоручују измене кода. Кључне карактеристике ове услуге укључују: креирање цевовода за аутоматизацију процеса, интеграцију са AWS и екстерним услугама, управљање артефактима, визуелни радни ток, аутоматизовано тестирање, паралелно и секвенцијално извршавање фаза, окidaче засноване на догађајима и фокус на безбедности и скалабилности. Ова услуга игра кључну улогу у убрзавању развоја и испоруке софтверских решења на AWS платформи.

3.2. Docker

Docker је платформа отвореног кода за контејнеризацију, која обезбеђује паковање и извршавање апликација у контејнерима са низом предности. Овај алат се истиче кроз контејнеризацију која обезбеђује конзистентно окружење за апликације, једноставан кориснички интерфејс, брзину и ефикасност, портабилност за различите платформе, лаку скалабилност, активну заједницу и интеграцију са другим технологијама. Docker омогућава ефикасан развој, тестирање и испоруку апликација и представља важан алат у свету развоја и дистрибуције софтвера.

3.3. GitHub

GitHub је моћна веб-базирана платформа за управљање верзијама и колаборативни развој софтвера која

нуди бројне корисне функције. Користи Git за контролу верзија и омогућава програмерима да сарађују на пројектима, прате измене кода и раде на заједничким решењима. Корисници могу креирати јавне или приватне репозиторијуме за управљање кодом, а такође имају приступ функцијама за тимску сарадњу, континуалну интеграцију, документацију, безбедност и управљање пројектима. GitHub се истиче кроз своју активну заједницу и могућност проширивости, што га чини неизоставним алатом за програмере и развојне тимове.

3.4. Инфраструктурно решење

Слика 1 приказује архитектуру инфраструктурног решења, састојано од претходно описаних услуга и ресурса.

Инфраструктура се базира на AWS виртуелном приватном облаку и има за циљ да осигура изолацију и сигурност ресурса. Корисници могу приступити систему и комуницирати са њим само преко API Gateway-а, који се налази у јавној подмрежи. Ова комуникација се одвија сигурно коришћењем HTTPS протокола, што обезбеђује поверљивост и интегритет података између корисника и API Gateway-а. Следећа компонента је ALB који се налази унутар приватне мреже и служи за прослеђивање захтева. Ова компонента дозвољава приступ само од стране API Gateway-а, чиме се обезбеђује безбедност и контрола приступа.

Комуникација се извршава коришћењем HTTP протокола, обзиром да су све остале компоненте система унутар приватне мреже. ALB равномерно распоређује захтеве на ECS контејнере, у зависности од мрежног оптерећења контејнера. ECS користи Fargate технологију за покретање контејнера са дефинисаним задацима.

У конкретном случају, дефиниција задатка представља контејнеризовани API дигиталне библиотеке, који се налази у AWS ECR репозиторијуму. Додатно, дефиниција задатка садржи конфигурацију за прикупљање и управљање логovima коришћењем AWS CloudWatch услуге. API дигиталне библиотеке има приступ AWS SQL Server RDS бази података, која чува податке на сигуран начин. За развој апликације коришћена је AWS CodePipeline CI/CD услуга.

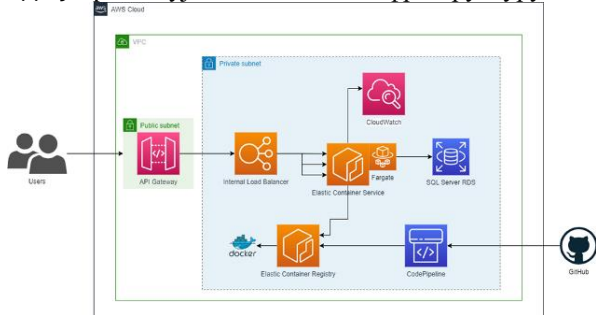
Ова услуга је интегрисана са GitHub репозиторијумом, где се налази изворни код апликације. Свака измена на главној грани GitHub репозиторијума покреће аутоматску изградњу, паковање кода у Docker слику и постављање слике на ECR репозиторијум. Након тога, ECS ажурира дефиниције задатака и испоручује контејнере са новом сликом апликације. Једна од битних карактеристика је да је API доступан и за време ажурирања апликације, обзиром да ECS и Fargate гарантују сталан број покренутих контејнера, што омогућава високу доступност система.

4. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ИНФРАСТРУКТУРНОГ РЕШЕЊА

У овом поглављу ће бити представљена имплементација инфраструктурног решења кроз пример листинга инфраструктурног кода, објашњења одређених Terraform концепата и пример крајњег резултата.

4.1. Makefile датотека

Ради лакшег коришћења Terraform, Docker и AWS интерфејса командне линије употребљен је GNU Make алат. Он служи за дефинисање сопствених команди, правила и мета. На овај начин, покретањем једне команде се могу секвенцијално извршити скупови команди других алата. У њему се налазе лабеле које одговарају Terraform командама за управљање ресурсима. Команда `init` иницијализује окружење, `plan` анализира измене и генерише извештај, док `apply` примењује те измене на инфраструктуру.



Слика 1. Архитектура инфраструктурног решења апликације дигиталне библиотеке

4.2. Terraform датотеке

Инфраструктурне Terraform датотеке, са `.tf` екстензијом, служе за дефинисање и управљање ресурсима инфраструктуре у облаку. Свака `.tf` датотека представља компоненту инфраструктуре, користећи Terraform доменски језик HCL. У овим датотекама дефинишу се ресурси, променљиве и излази. Ресурси представљају компоненте инфраструктуре које се креирају или управљају, као што су сервери и мрежни елементи. Променљиве омогућавају параметризацију конфигурације, док излази омогућавају приступ и референцирање вредности ресурса у другим датотекама. Листинг 1 приказује пример Terraform AWS ALB ресурса.

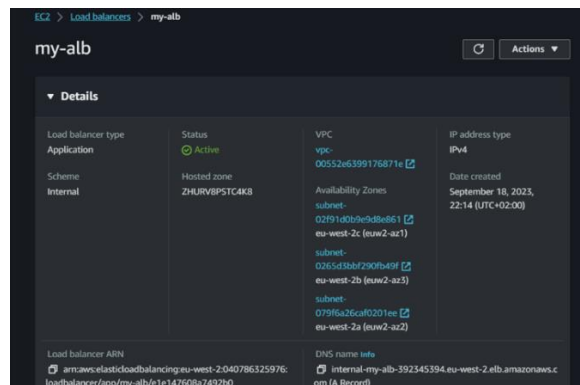
```
resource "aws_lb" "this" {
  name           = "my-alb"
  security_groups = [aws_security_group.this.id]
  subnets       = data.aws_subnet_ids.this.ids
  load_balancer_type = "application"
  internal       = true
}
```

Листинг 1. Пример Terraform AWS ALB ресурса

Слика 2 приказује пример успешно креираног ALB-а.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом истраживању се разматра значај DevOps методологије и алата за аутоматизацију у развоју софтвера. Анализирани су DevOps принципи и алати и истакнуте су њихове предности, укључујући побољшану сарадњу и брже циклусе развоја. Такође, објашњена је улога пружалаца услуга у облаку и представљена инфраструктура кодирана помоћу Terraform алата. Резултати укључују инфраструктуру у облаку и аутоматизован процес интеграције и испоруке софтвера.



Слика 2. Пример успешно креираног ALB-а

У будућности, инфраструктурно решење има потенцијал за побољшање на неколико начина. Прво, коришћење Terraform модула може значајно олакшати организацију и одржавање инфраструктурног кода, смањујући дупликацију и пружајући стандардизоване интерфејсе за сарадњу између тимова. Друго, употреба специјализованих алата за управљање тајнама може подићи ниво сигурности и управљивости осетљивих података у Terraform решењу, чинећи их бољим избором за управљање тајнама.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Jahić and N. Buzadija, "DevOps Methodology in Modern Software Development," *qjoest*, vol. 4, no. 1, pp. 1-11, March 2023.
- [2] Y. Brikman, Terraform: Up & Running, 3rd ed., Sebastopol: O'Reilly Media Inc., 2022.
- [3] M. Shahin, M. Ali Babar and L. Zhu, "Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review on Approaches, Tools, Challenges and Practices," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 3909-3943, 2017.
- [4] Bunnyshell, "Terraform vs. Cloudformation vs. Pulumi," Bunnyshell, 7 July 2022. [Online]. Available: bunnyshell.com/blog/terraform-vs-cloudformation-vs-pulumi. [Accessed September 2023].

Кратка биографија:



Лука Милетић рођен је 21.09.1999. у Новом Саду. Студент на мастер академским студијама Факултета техничких наука, у оквиру Универзитета у Новом Саду. Након завршене средње школе, уписује 2018. године Факултет техничких наука, смер Рачунарство и аутоматика. У трећој години се усмерава на модул Примењене рачунарске науке и информатика, са даљим усмеравањем на модул Интернет и електронско пословање. Након завршених основних студија, уписује 2022. године мастер академске студије на Факултету техничких наука, смер Рачунарство и аутоматика, модул Електронско пословање.

DETEKCIJA POLJA SOLARNIH ELEKTRANA SA SATELITSKIH SNIMAKA DETECTION OF SOLAR POWER PLANT FIELDS FROM SATELLITE IMAGES

Filip Jakovljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Ovaj istraživački rad predstavlja automatizovan sistem napravljen korišćenjem dubokog učenja, tačnije konvolucione neuronske mreže (CNN) sa U-Net arhitekturom, za detekciju i precizno lociranje solarnih elektrana na satelitskim snimcima. Sistem postiže impresivno preklapanje od 89% prema metrici preseka i unije (IoU), olakšavajući praćenje obnovljivih izvora energije i doprinoseći održivosti.

Ključne reči: Semantička segmentacija, U-mreža, kompjuterska vizija, solarni paneli, neuronske mreže

Abstract – This research paper presents an automated system using deep learning, particularly a CNN with a U-Net architecture, to detect and precisely locate solar power plants in satellite images. Achieving an 89% IoU overlap, the system streamlines renewable energy monitoring, promoting sustainability.

Keywords: Semantic segmentation, U-net, computer vision, solar panels, neural networks

1. UVOD

Satelitski snimci predstavljaju važan izvor informacija o zemljištu, klimatskim uslovima i promenama koje se dešavaju na površini naše planete. Međutim, velika količina podataka koja se snima satelitima izaziva potrebu za razvojem sistema koji su sposobni za njihovu automatsku analizu. Ovaj rad se bavi segmentacijom objekata sa satelitskih snimaka. Detekcija i segmentacija objekata ima veliki potencijal da obezbedi korisne informacije u različitim oblastima kao što su urbani razvoj, agrikultura, flora i fauna, pa čak i u vojne svrhe. Motivacija za rešavanje ovog problema leži u mogućnosti da se automatizuje proces analize satelitskih snimaka i da se omogući brže i efikasnije praćenje i identifikacija objekata od interesa.

U skladu sa tim, fokus ovog istraživanja bila je detekcija solarnih elektrana na satelitskim snimcima. Solarni elektrane predstavljaju ključni izvor obnovljive energije i igraju vitalnu ulogu u suprotstavljanju klimatskim promenama i ograničavanju uticaja na okruženje. Ipak, identifikacija i praćenje lokacija na kojima su izgrađene solarne elektrane može biti izazovna s obzirom na veliki broj mogućih lokacija i kompleksnost terena. Razvoj automatizovanog sistema za detekciju solarnih elektrana na satelitskim slikama ima potencijal da značajno olakša i

ubrza proces identifikacije i monitoringa ovih važnih izvora obnovljive energije. Time bi se doprinelo efikasnijem korišćenju energetske resursa i ostvarivanju održive budućnosti.

2. IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Sistem koji je implementiran za automatsku detekciju polja solarnih elektrana sastoji se od tri glavne komponente. Prva komponenta je ulaz u neuronsku mrežu, koji predstavlja satelitski snimak sa visokim nivoom detalja na rezoluciji 16 nad kojom se vrši detekcija. Druga komponenta je duboka neuronska mreža, čiji je zadatak da generiše izlaznu masku koja označava regije na snimku na kojima se nalaze solarni paneli. Treća komponenta je regularizacija izlazne maske, koja pomaže da se obezbedi preciznost i očuva oštrina kontura u konačnom izlazu mreže. Na slici 1 mogu se videti izlazi iz komponenti modela.

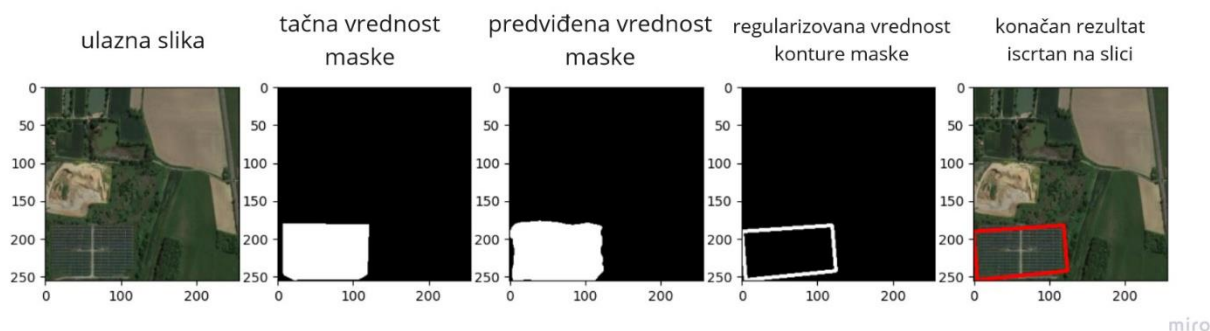
2.1. Duboka neuronska mreža

Kao neuronska mreža koja rešava ovaj problem, implementirana je U-Net arhitektura [1]. U-Net arhitektura je postigla izuzetne rezultate u segmentaciji i analizi slika za druge potrebe i efikasno rešava neka ograničenja potpuno konvolucionih mreža (FCN), što je dovelo do izbora U-Net kao modela u ovom slučaju. Kako se često kombinuje sa ResNet mrežom kao osnovom, i kako je sama ResNet mreža jedan od standarda u svetu računarske vizije, odlučeno je da i ovde ona ostane osnova. Isprobano je više varijacija ResNet arhitektura različitih dubina kako bi se dobio uvid koliko dubina i veći broj parametara utiču na preciznost i kolika je kompleksnost samog problema.

Srž U-Net mreže je njena karakteristična struktura enkodera i dekodera. Mreža počinje s konstruktivnim putem (enkoderom), koji hijerarhijski izvlači osobine iz ulazne slike koristeći zaredane konvolucione slojeve sa uzorkovanjem. Ovaj put enkodera efikasno smanjuje prostorne dimenzije i povećava dubinu reprezentacije osobina. Dekoder uzima te hijerarhijske osobine koje je enkoder izvukao, skalira i rekonstruiše ih u segmentacionu masku visoke rezolucije. Time se dobija detaljna i precizna lokalizacija objekata i regiona od interesa sa ulazne slike. Ono što izdvaja U-Net arhitekturu je njena upotreba preskačućih veza. Ove veze prevazilaze razliku između puta enkodera i dekodera spajanjem mapa osobina iz enkodera sa odgovarajućim slojevima u dekoderu i daju arhitekturi karakterističan oblik po kom je i dobila ime.

NAPOMENA:

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



Slika 1. Izlazi iz komponenti modela

Sami enkoder i dekodeer delovi mogu da se menjaju, odnosno da se na mestu njih koriste razni pretrenirani modeli kao osnova za U-mrežu. Često se uparuje sa ResNet arhitekturama raznih dubina i VGG arhitekturom kao osnovom.

2.2. Regularizacija poligona

Konvolucione neuronske mreže (CNN) su moćan alat za obradu slika, ali imaju tendenciju da na konačnom izlazu izgube oštrinu ivica kontura i ćoškeve objekata. Ovaj fenomen se dešava zbog načina na koji CNN obrađuju sliku koristeći konvolucione slojeve, slojeve za uzorkovanje i slične tehnike. Ovi slojevi često izdvajaju bitne karakteristike slike, ali mogu "zamagliti" detalje poput oštarih ivica i ćoškova.

Da bi se nadoknadila ova tendencija i poboljšala preciznost izlaza CNN-a, koristi se tehnika poznata kao "regularizacija poligona" pomoću Ramer-Douglas-Peucker algoritma [2] [3].

Algoritam Ramer-Douglas-Peucker je tehnika za aproksimaciju krivulja ili kontura redukovanjem broja tačaka. Počinje s nizom tačaka i postepeno uklanja nepotrebne tačke tako da zadržava samo one koje su bitne za očuvanje oblika krivulje. Ovo čini tako što izračunava udaljenost između svih tačaka u nizu i zatim zadržava samo one tačke koje su udaljene iznad određenog praga ili epsilon vrednosti od aproksimirane krivulje.

3. SKUP PODATAKA

Skup podataka sadrži slike regija solarnih panela na predelu Italije koje su izvučene iz OSM (OpenStreetMap) baze podataka. Samo labeliranje solarnih panela u OSM bazi podataka nije striktno regulisano, pa se mogu naći varijacije u skupu, gde je neko označavao solarne ćelije jednu po jednu, dok je neko drugi samo označio parcelu na kojoj se nalazi polje solarnih panela.

Sam skup slika nije obuhvatio one koje ne prikazuju solarne panele, jer je početna svrha projekta bila otkriti ukupnu površinu solarnih panela na poznatim koordinatama parcela, pa se očekivalo da će slike uglavnom sadržati solarne panele. Takođe, s obzirom da je skidanje i pravljenje skupa bilo automatsko, postoji mogućnost da se u tom skupu nalaze loše labelirani podaci, zastareli satelitski snimci ili da su objekti zaklonjeni oblacima.

Slike u skupu su dimenzija 256x256x3 gde vrednosti boja upadaju u raspon između 0 i 255, a prikupljeno je ukupno

5360 slika što pokriva površinu od oko 2000 km² Zemljine površine. Skup podataka podeljen je tako da 4306 slika bude za obučavanje, a 1054 za validaciju, što predstavlja podelu blizu odnosa 80% - 20% za obučavanje i validaciju.

3.1. Metodologija kreiranja skupa podataka

Da bi se dobili podaci napisan je upit u Overpass QL (Overpass Query Language) jeziku, koji predstavlja način da se izvuku podaci iz OSM baze podataka. Prilikom slanja upita može se specificovati format u kom želimo da se vrate podaci. U ovom radu kao format izabran je JSON zato što se lako učitava u GeoDataFrame. Podaci koje vraća upit su geografske koordinate tačaka, relacija i puteva. Možemo smatrati da su zatvoreni putevi poligoni, a cilj učitavanja podataka u GeoDataFrame jeste da isfiltriramo rezultate koji nisu poligoni.

Sledeći korak je pretvaranje geografskih koordinata u koordinate pločica i piksela za određeni nivo detalja. Izabran je nivo detalja 16, jer se na njemu vide polja solarnih elektrana sa njihovom okolinom. Za ove transformacije koristi se biblioteka `vec_geohash`, koja je implementirana za ovu svrhu [4].

Na osnovu dobijenih koordinata pločica vrši se grupisanje poligona i skidaju se satelitski snimci. Za skidanje satelitskih snimaka iskorišćene su GoogleMaps i ArcGIS provajderi veb mapa. Istovremeno u ovom koraku kreiraju se i maske za svaki poligon koji upada u tu pločicu. Maske se dobijaju tako što se od piksel koordinata oduzme broj piksela početka pločice.

4. EKSPERIMENTI I REZULTATI

Kao eksperiment menjani su parametri dubine osnove za U-Net arhitekture i broj slika u batch-evima (veličine podskupa skupa slika). Za mrežu osnove isprobane su tri ResNet arhitekture različite dubine (ResNet18, ResNet34 i ResNet50), ispitivalo se da li povećanjem dubine dolazi do značajnijeg poboljšanja u predviđanju. Sve mreže su već uzete pretrenirane kako bi se ubrzao proces treninga. Broj slika koje su mogle da stanu u batch je bio ograničen dostupnom memorijom no isto su isprobane tri vrednosti (8, 16 i 32).

Najbolji model je postigao dobre rezultate prema metrici preseka nad unijom (IoU). IoU od 89% koji je postignut kod skoro svih modela pokazuje visok nivo tačnosti u semantičkoj segmentaciji objekata, što ukazuje na

efikasnost modela u automatskom identifikovanju i lokalizaciji solarnih instalacija na satelitskim snimcima.

Rezultati za različite osnove pokazuju da problem nije bio previše kompleksan, odnosno da se polja solarnih elektrana dosta razlikuju od svoje okoline, pošto i najjednostavnija mreža (mreža sa najmanje parametara) ima rezultate u približnom rangu kao i najkompleksnija mreža (mreža sa najviše parametara). Ovo se može opravdati činjenicom da solarni paneli često obrazuju karakterističan i pravilan obrazac koji nije lako naći u prirodi.

Rezultati za veličinu batch-a ukazuju da on nije doprineo značajnijoj promeni IoU mere. Pretpostavka da se smanjenjem veličine batch-a model više prilagođava individualnim primerima i da će se to preneti na poboljšano predviđanje ovde se nije pokazala kao tačna.

Međutim, povećanjem dubine osnove modela i smanjenjem veličine batch-eva povećava se dužina treniranja.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je korišćena duboka neuronska mreža, konkretno ResNet konvoluciona neuronska mreža, u kombinaciji sa U-Net arhitekturom za semantičku segmentaciju slika, kako bi se automatski identifikovala i lokalizovala polja solarnih elektrana na satelitskim snimcima.

Motivacija za rešavanje ovog problema leži u potencijalu za automatizaciju analize satelitskih snimaka i otkrivanju polja solarnih panela, koje igraju ključnu ulogu u suzbijanju klimatskih promena i promovisanju obnovljivih izvora energije.

Model je postigao zadovoljavajuće rezultate kada je reč o IoU metrici, sa 89% tačnosti u semantičkoj segmentaciji objekata, što ukazuje na efikasnost modela u automatskom otkrivanju i preciznom lociranju solarnih instalacija na satelitskim snimcima.

Treba uzeti u obzir da je i trening i test skup satelitskih snimaka iz regiona Italije te da bi varijacije u terenu iz kompletno drugog regiona sveta uticale na predviđanje ovog modela. Kako bi se ovo rešilo trening skup može se proširiti da obuhvati različite regione planete.

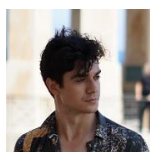
Dodavanjem satelitskih snimaka većeg nivoa detalja kao ulaznih podataka modelu, omogućila bi se šira primena za detekciju rezidencijalnih fotoćelija.

Verujemo da bi poboljšanje modela doprinela i promenom načina na koji se vrši regularizacija poligona sa izlaznih maski. Trenutno ovo polje istraživanja je otvoreno i konstantno izlaze novi metodi koji uključuju razne modele neuronskih mreža i postižu bolje rezultate nego konvencionalni algoritmi.

6. LITERATURA

- [1] O. Ronneberger, P. Fischer i T. Brox, U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), 2015.
- [2] U. Ramer, An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves, Computer Graphics and Image Processing, 1972.
- [3] D. Douglas i P. Peucker, Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature, Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 1973.
- [4] F. Jakovljević, „vec_geohash,“ https://github.com/FJakovljevic/vec_geohash, 2023.

Kratka biografija:



Filip Jakovljević rođen je 1996. u Novom Sadu, Republika Srbija. Završava gimnaziju „Jovan Jovanović Zmaj” i upisuje Fakultet tehničkih nauka, odsek Računarstvo i automatika. Osnovne studije završava u roku 2019. godine.
kontakt: fillix96@gmail.com

SENTIMENT ANALIZA OBJAVA SA DRUŠTVENE MREŽE TWITTER O COVID-19 VAKCINAMA**SENTIMENT ANALYSIS OF TWITTER POSTS ON COVID-19 VACCINES**Filip Zdelar, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA**

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je razvoj sistema za analizu Tviter podataka o vakcinama protiv COVID-19 virusa u Srbiji. Analiza uključuje sistem za detekciju sentimenta i detekciju teme kojom se tvit bavi. Za potrebe izrade projekta, preuzet je označen skup engleskih tvitova i prikupljen skup srpskih tvitova koju su prevedeni na engleski jezik. Za detekciju sentimenta isprobana su dva pristupa obučavanje modela nadgledanog učenja na označenom skupu podataka engleskih tvitova o COVID-19 virusu. Na zadatku detekcije sentimenta najbolje performanse ostvarene su kovolucione neuronske mreže metodom koja je postizala tačnost 59% i identifikovano da postoji ukupno je 38% pozitivnih, 37% negativnih i 25% neutralnih srpskih tvitova. Model tema ostvario je koherentnost od 0.45 i identifikovano je petnaest tema.

Ključne reči: sentiment, topic, twitter, COVID-19, NLP, neuronske mreže

Abstract – This paper presents the development of a system for analyzing Twitter data about COVID-19 vaccines in Serbia. The analysis includes a sentiment detection system and a topic detection system related to the tweets. For the project's development, a labeled set of English tweets was used, along with a collection of Serbian tweets that were translated into English. Two approaches were tested for sentiment detection: supervised learning by training a model on a labeled dataset of English tweets about COVID-19. The best performance in sentiment detection was achieved using convolutional neural networks, which achieved an accuracy of 59%. It was identified that there are 38% positive, 37% negative, and 25% neutral Serbian tweets in the dataset. The topic model achieved a coherence score of 0.45, identifying fifteen topics.

Keywords: sentiment, topic, Twitter, COVID-19, NLP, neural networks

1. UVOD

Planeta se suočila sa velikom pandemijom korona virusa krajem 2019. godine. Izbijanje bolesti korona virusa (COVID-19) u velikoj meri je uticalo na ljudski život. Zdravlje ljudi ugroženo je ne samo zbog vanredne situacije, već i zbog naknadnih društvenih ishoda kao što

su nezaposlenost, nedostatak resursa i finansijska kriza. U ovakvim okolnostima kao sredstvo za borbu javljaju se vakcine i od sve veće važnosti postaje politika javnog zdravlja. Svetska zdravstvena organizacija (SZO) navodi da je ravnopravan pristup sigurnim i efikasnim vakcinama ključan za okončavanje pandemije COVID-19 i neumorno radi sa partnerima na razvoju, proizvodnji i primeni bezbednih i efikasnih vakcina [1]. Do 13. aprila 2022. godine na listi SZO za hitnu upotrebu je odobreno 10 vakcina protiv COVID-19, dok je ukupno 37 vakcina koje su licencirane i odobrene za upotrebu u hitnim slučajevima ubar jednoj državi, a 195 vakcina je u procesu razvoja i odobravanja [2].

Prvi slučaj korona virusa u Srbiji potvrđen je 6. marta 2020. godine, nakon čega zemlju zahvata epidemija i uvode se mere za suzbijanje širenja virusa. Država Srbija 19. januara 2021. godine predstavlja sistem za primenu, zakazivanje i praćenje vakcina i imunizacije stanovništva. Upućen je poziv građanima da se vakcinišu u što većem broju i započet je proces masovne vakcinacije [3]. U naporima za postizanjem imunizacije stanovništva, nadležnim organima postaje sve neophodniji uvid u stavove šire javnosti povodom vakcinacije. Uspešno sprovođenje imunizacije stanovništva podrazumeva pozitivan stav građana prema vakcinama, pa jedan od zadataka učesnika u javnom zdravlju predstavlja odgovor na stavove ljudi koji se protive imunizaciji.

Za sistem javnog zdravlja može biti od značaja informacija o razlozima negativnog stava prema vakcinama, kako bi se kroz aktivnosti sistema javnog zdravlja moglo uticati na formiranje pozitivnog mišljenja javnosti. Dobra okolnost čini to što društvene mreže predstavljaju uobičajeno mesto za ljude da izraze svoje emocije i stavove, pa je velika dostupnost informacija o stavovima javnosti o značajnim temama, kao što je i milionski broj javno dostupnih objava na temu vakcina na društvenoj mreži kao što je Twitter. Analiza sentimenta može pružiti pravovremeni uvid u stav i mišljenje javnosti prema COVID-19 vakcinama i obezbediti smernice za kreiranje politike javnog zdravlja i dizajniranje prilagođenih programa edukacije o vakcinama.

Uz uvid u teme koje se javljaju u diskusijama koje sadrže negativan ili pozitivan stav prema vakcinaciji, moguće je poboljšati interakciju nadležnih organa sa širom javnošću i delovati u pravcu uspešne imunizacije stanovništva. U ovom radu će biti predstavljeno jedno rešenje za analizu podataka sa Twittera o COVID-19 vakcinama. Rešenje omogućava razumevanje stavova javnosti povodom vakcinacije i identifikaciju glavnih tema u objavama negativnog i pozitivnog sentimenta. Detaljniji opis

NAPOMENA:

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

podataka, izazova i rešenja izložen je u ostatku rada. Naredno poglavlje se bavi srodnim istraživanjima na ovu temu. U trećem poglavlju će biti opisan skup podataka, način pripreme podataka za obučavanje i validaciju modela. Nakon toga, biće predstavljena metodologija koja je korišćena za rešavanje problema detekcije sentimenta i tema. Potom sledi prikaz rezultata i diskusija. Na samom kraju biće izvedeni zaključci samog rada.

2. METODOLOGIJA

U ovom poglavlju je predstavljeno pretprocesiranje tvitova, implementacija sistema za analizu sentimentata i analizu tema. Moduli za sentiment analizu su opisani u dva podpoglavlja, jedno koje je zasnovano na nadgledanom učenju i drugo koje je zasnovano na nenadgledanom učenju.

Modeli za klasifikaciju imaju na ulazu *TF-IDF* i *BERT* vektore tvitova, a izlaz klasifikatora su tri moguće klase; tvit je za vakcinaciju, tvit je neutralan povodom vakcinacije ili ne može da se odredi, i tvit je protiv vakcinacije. Analizom tema bi se dinamički odredile teme koje postoje u skupu podataka i izvršilo bi se prebrojavanje broja tvitova koje pripadaju jednoj temi.

2.1. Pretprocesiranje

Pre upotrebe podataka urađenu su sledeće transformacije, kako bi se skup podataka mogao koristiti u modelima i kako bi se odstranili uzorci koji nisu pogodni za obučavanje. U slučaju supa podataka za treniranje, kategorička obeležja *very negative* i *very positive* su prebačena kao *postive* i kao *negative*, što je odrađeno radi smanjenja kompleksnosti modela. Svim tvitovima su izbačeni simboli *hashtag*-a što je simbol @, dok je sama njegova vrednost ostavljena u tvitui. Izbačeni su svi linkovi koji sadrže *https* ili *http* prefiks. Emodži ikonice su prvo razdvojene razmakom kako bi se zatim pretvorile u svoje semantičko značenje korišćenjem biblioteke *emoji*. Izbačeni su svi znaci interpunkcije kao što su “.”, “,”, “?”, “!” i druge slične znakove. Nakon toga, izbačeni su specijalni znakovi koji ne pripadaju latiničnim slovima. Na samom kraju svi karakteri su prebačeni u mala slova latinice kako se reči sa istim semantičkim značenjem ne bi razlikovale u modelu.

Posle obrade podataka koji je prvobitno bio u tekstualnom obliku, izvršava se tokenizacija teksta kako bi se reči unutar teksta normalizovale. Između procesa uzimanja osnove leksikografske forme (lemitizacije) i oduzimanje sufiksa (stematizacije), odbrana je lemitizacije zbog toga što je poznatija po davanju boljih rezultata, uprkos tome što je sporija. Prilikom ovog procesa odbačene su zaustavne reči kao što su “*the*”, “*is*”, “*as*”, “*to*”, “*a*”, “*that*” i mnoge druge slične reči koje se često pojavljuju, a pri tome ne daju semantičko značenje.

Na kraju je za svaku reč određena njena vrsta reči i ostavljene su samo one koje su pridevi, imenice, glagoli i prilozi. Urađene su obe vrste ranije spomenutih tokenizacija; *TFIDF* i *BERT*. Za dužinu *TFIDF* vektora dobijena je vrednost 126575. *BERT* reprezentacije podataka dobijene su korišćenjem *DistilBert* prethodno obučenog modela, dok su podaci pripremljeni za model korišćenjem *DistilBertTokenizer*.

Preuzet je prvi vektor poslednjeg skrivenog stanja, koji predstavlja reprezentaciju CLS tokena dužine 73.

2.2. Skup podataka

Na Preuzet je označeni skup engleskih tvitova i prikupljen skup srpskih tvitova koji su prevedeni na engleski jezik. Označeni skup engleskih tvitova korišćen je za treniranje i optimizaciju modela nadgledanog učenja.

Stratifikovanom podelom 0.7 podataka je izdvojeno za obučavanje, a 0.3 za validaciju i optimizaciju modela. Nasumičan deo srpskih tvitova ručno je označen i predstavlja test skup podataka. Srpski tvitovi su odabrani nasumično kroz vreme zato što je primećeno da su određeni događaji uticali da se javi velika količina tvitova sa istim sentimentom u tom vremenskom periodu, npr. vest o otvaranju fabrika za proizvodnju vakcina povukla je veliki broj pozitivnih tvitova u tom vremenskom periodu. Na ručno označenim srpskim tvitovima, nakon što su prevedeni na engleski, biće testirani optimizovani modeli, kao i nenadgledani pristupi za određivanje sentimenta. Podaci na kojima se vrši obuka modela nadgledanog učenja su preuzeti u CSV formatu sa *openICPRS* repozitorijuma javno dostupnih podataka o društvenim, bihevioralnim i zdravstvenim istraživanjima.

Set podataka “*COVID-19 Twitter Dataset with Latent Topics, Sentiments and Emotions Attributes*” formiran je sa ciljem istraživanja javnih konverzacija na Tviteru na temu pandemije COVID-19 virusa [4].

Set podataka sadrži preko 198 miliona Tviter objava na engleskom jeziku prikupljenih u periodu od 28. januara 2020. do 1. septembra 2021. koristeći ključne reči “*corona*”, “*wuhan*”, “*nCov*” i “*covid*”. Podaci su označeni korišćenjem *CrystalFeel* [5], kolekcije pet unapred obučanih algoritama mašinskog učenja za ekstrakciju sentimenta i ocenu emocije, koji su trenirani na manuelno označenim tvitovima. Za potrebe projekta, preuzeti su CSV fajlovi sa tvitovima sa teritorija sa engleskim kao govornim jezikom, Australije i Velike Britanije. Najpre je prikupljeno 149186 australijskih tvitova (87819 negativnih, 37033 pozitivnih, 24334 neutralnih), a zatim je set podataka proširen tvitovima iz Velike Britanije kojih ima 477410 tvitova (148443 negativnih, 163884 pozitivnih, 165083 neutralnih).

Konačan balansirani skup podataka cini 420000 tvitova, pri čemu nije uključen celokupan skup za obučavanje zbog ograničenih resursa. Svaki tvit u setu podataka označen je sa sedamnaest semantičkih atributa, ali pošto je obim ovog projekta ograničen na detekciju sentimenta i ne uključuje detekciju konkretnih emocija, za potrebe obučavanja modela korišćen je samo kvalitativni atribut koji ukazuje na kategoriju sentimenta (*very negative*, *negative*, *neutral or mixed*, *positive*, *very positive*). Takođe, model je obučavan da detektuje sentiment samo na teksta objave, odnosno nije obučavan na atributima koji sadrže informaciju o korisniku, njegovoj lokaciji, vremenu postavljanja tvita i interakcijama (broj retvitova, lajkova). Preuzeti skup podataka sadrži jedinstven ID tvita na osnovu kog je korišćenjem Tviter API-ja dobavljen tekst tvita. Modeli su trenirani da prepoznaju kategoriju, ali ne i intenzitet sentimenta, pa su tvitovi označeni sa *very positive* i *very negative* prilikom pripreme podataka

za treniranje modela označeni kao *positive* i *negative*, respektivno.

Cilj projekta jeste analiza sentimenta srpskih tvitova, pa priprema podataka uključuje prikupljanje Tviter objava o vakcinama na srpskom jeziku. Tvitovi su prikupljeni korišćenjem Tviter API-ja koristeći *academic research* pristup, koji omogućava pristup istorijski javnim podacima uz dodatne funkcionalnosti koje podržavaju prikupljanje preciznijih i potpunijih skupova podataka [6]. Prikupljeni su tvitovi na srpskom jeziku postavljeni u periodu od 31. januara 2021. do 31. januara 2022. godine, koristeći kombinaciju svih morfoloških oblika ključnih reči vakcina, vakcinisati i kovid, na ćirilici i latinici.

Zbog ograničenja dužine upita koji se prosleđuje Tviter API-ju inicijalni upit koji sadrži kombinacije svih morfoloških oblika ključnih reči izdelfen je na četiri kraća upita. Konačan skup podataka dobijen je spajanjem prikupljenih podataka različitih upita, pri čemu je vođeno računa da se jedna objava prikupi samo jedanput. Izostavljeni su tvitovi koji *repost*-uju originalnu objavu (*retweets*, *quotes*), kao i tvitovi koji predstavljaju *reply*, nakon što je analizom utvrđeno da su ovi tvitovi često kratkog teksta i da je njihov sentiment zavistan od konteksta samog tvita na koji odgovaraju. Prikupljeno je 93435 tvitova, koji su zatim prevedeni sa srpskog na engleski jezik korišćenjem *GOOGLETRANSLATE* koji je dostupan u *google sheets* aplikaciji u kojoj su podaci čuvani. Nasumičnim izborom izdvojeno je 6000 tvitova koji su manuelno anotirani sistemom trostrukog glasanja – svakom titu su dve osobe nezavisno davale ocenu sentimenta i u slučaju neslaganja je treća osoba dodeljivala konačnu ocenu sentimenta.

2.3. Sentiment analiza i analiza tema

U ovom poglavlju su grupisani modeli svih klasifikacionih sistema za dobijanje sentimenta. Ulaz u sistem su engleski tvitovi koji su korišćeni kao skup podataka za obučavanje. Skup podataka koji je zasnovan na srpskim tvitovima se koristi za validaciju modela istreniranih na obučavajućem engleskom skupu podataka. Sakupljen skup podataka se prevodi na engleski jezik gde se dalje preprocesira na isti način na koje se preprocesiraju tvitovi koji su sačinjeni od engleskog skupa podataka. Izvršava se tokenizacija korišćenjem *TF-IDF* i *BERT* modela. Svaki od ovih modela su istrenirani na modelima mašinskog učenja: naivni Bajes, metod nasumične šume, višeslojne neuronske mreže i mašine na bazi vektora nosača. Kod nenadgledane sentiment analize, izlaz je isti kao kod nadgledane analize, sa tim da kod nenadgledane analize nema skupa podataka koji je sačinjen od engleskih tvitova. Takođe na ulaz su dovedeni preobučeni modeli *TextBlob*, *Vader* i model leksičkih osobina. Ulaz za analizu tema čini skup podataka sačinjen od srpskih tvitova, dok je izlaz sačinjen od tema, koje će biti dobijene metodom lakta i izlaz će biti obučeni klasifikacioni model. Sama analiza tema će biti urađena sa dva moguća pristupa: *LDA* i *NMF*.

2.4. Rezultati

Konvolucione neuronske mreže su se pokazale kao tačniji i najprecizniji model za dobijanje sentimenta tvita vrednosti tačnosti od 52.3% sa *TF-IDF* tokenizatorom i 50,7% sa *BERT* tokenizatorom. Vrednosti tačnosti mo-

dela naivnog Bajesa, nasumične šume, višeslojne neuronske mreže i konvolucione neuronske mreže su prikazani u tabeli 1, gde su sve vrednosti kolona vrste tokenizatora. U tabli 2 su zadate vrednosti tačnosti i preciznosti *TextBlob*-a *Vader*-a i leksičke analize osobina. Za nenedgledano obučavanje, najbolje se pokazao model leksičke analize osobina (*Afinn*) koji je ostvario tačnost od 39,4% i preciznost od 44%. U tabeli 3 dati su rezultati metrika konvolucione neuronske mreže obučene sa *BERT* tokenima. Na osnovu visoke preciznosti za klasu neutralnih sentimenta, može da se zaključi da model generalno predviđa više predikcija za neutralnu klasu. Najveći odziv je ostvarila negativna klasa sa vrednosti od 65.7%, dok je za vrednost *F*-mere klasa neutralnih sentimenta ostvarila najbolju vrednost koja je 61,7%

Tabela 1. Tačnost za svaki nadgledani klasifikacioni model upotrebom *TFIDF* i *LDA* tokenizatora

	Tačnost modela upotrebom <i>TF-IDF</i>	Tačnost modela upotrebom <i>BERT</i>
Mašine na bazi vektora nosača	0.346	0.346
Naivni Bajes	0.333	0.333
Nasumične šume	0.447	0.485
Višeslojne neuronske mreže	0.448	0.587
Konvolucione neuronske mreže	0.523	0.597

Tabela 2. Vrednost tačnosti i preciznosti za modele *TextBlob*, *Vader* i leksičke analize

	Tačnost	Preciznost
<i>TextBlob</i>	0.376	0.380
<i>Vader</i>	0.371	0.374
<i>Afinn</i>	0.395	0.440

Tabela 3. Vrednost preciznosti, odziva i *F*-mere za svaki sentiment dobijen upotrebom modela konvolucione neuronske mreže

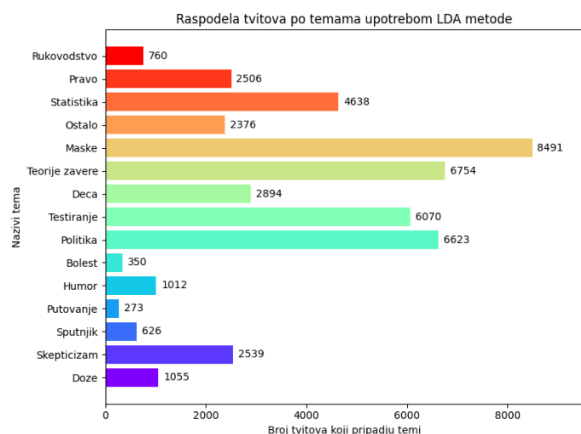
	Preciznost	Odziv	<i>F</i> -mera
Negativni sentiment	0.553	0.657	0.601
Neutralni sentiment	0.692	0.558	0.617
Pozitivni sentiment	0.544	0.607	0.574
Prosek	0.596	0.607	0.597

U radu [7] dobijeni su rezultati sa većom tačnosti i sa većom preciznosti. Razlog je u tome što su radili

detaljnije filtriranje relevantnih tvitova i što su kombinovali pristupe tokenizacije. Primenom modela dobijeni rezultati ukazuju da je 38% pozitivnih, 37% negativnih i 25% neutralnih srpskih tvitova.

Za dobijanje tema, odabiran je model *LDA* nad *TF-IDF* tvitovima, koji je imao najveći skor koherencije u odnosu na druge modele.

Odabran je model koji ima petnaest tema. Dobijene su reči svake teme modela i zatim su imenovane od strane male grupe ljudi. Teme su: doze, politika, putovanje, sputnjik, humor, bolest, skepticizam, testiranje, deca, teorije zavere, maske, ostalo, statistika, pravo i rukovodstvo.



Slika 1. Raspodela tvitova po temama upotrebom LDA metode nad celokupnim skupom podataka srpskih tvitova.

3. ZAKLJUČAK

Ovaj rad se bavio problemom analize Tviter podataka vezanih na temu COVID-19 vakcinaciju. Analiza je bila usmerena na dobijanje sentimenta pojedinačnih tvitova kao i grupisanje tvitova po leksičkom značenju i pridodavanje značenja grupama. Rezultati ovakve analize bi mogli biti iskorišćeni u zdravstvu kao mera mišljenja javnog mnjenja. Uz dodatnu analizu nadležni bi mogli imati dublji uvid u formiranje i praćenje stavova ljudi na društvenoj mreži Tviter. Za ovu analizu prikupljeni su tvitovi koji su sadržali ključne reči vezane za vakcinaciju u periodu od 31. Januara 2021. Go 21. Januara 2022. godine. Isprobana su dva pristupa mašinskog učenja za dobijanje sentimenta.

Jedan pristup je vezan za nadgledano, gde su se obučavali modeli na skupu engleskih tvitova i zatim primenjivali na srpske tvitove, dok drugi pristup vezan nenadgledano učenje uz upotrebu semantičke analize pojedinačnih tvitova.

Za dobijanje sentimenta najbolje rezultate ostvario je konvoluciona neuronska mreža sa tačnosti od 0,597 i sa preciznosti od 0.596. Za dobijanje tema, korišćena su dva modela, NMF i LDA. Krajnja analiza tema je izvršena sa modelom LDA koja je ostvarila koherentnost modela od 0,44. Tvitovi su podeljeni u 15 tema i svaka tema je imenovana zasebno.

Dobijene grupe su: doze, politika, putovanje, humor, bolest, testiranje, skepticizam, deca, maske, statistika, pravo, rukovodstvo, teorija zavere, sputnjik i ostalo. Potencijalni pravci za dalji rad na ovu temu bi bili: proširenje skupa podataka, filtriranje skupa podataka, predprocesiranje, detekcija sarkazma i odabir modela.

4. LITERATURA

- [1] <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines> (pogledano 3. 10. 2023.)
- [2] <https://covid19.trackvaccines.org/agency/who/> (pogledano 15. 4. 2022.)
- [3] <https://www.srbija.gov.rs/vest/en/166398/mass-vaccination-in-serbia-starts-today.php> (pogledano 15. 4. 2022.)
- [4] Raj Kumar Gupta, Ajay Vishwanath i Jinping Yang. "COVID-19 Twitter Dataset with Latent Topics, Sentiments and Emotions Attributes". CoRR abs/2007.06954 (2020.)
- [5] CrystalFeel. Multidimensional Emotion Intensity Analysis from Natural Language. Institute of High Performance Computing, A*STAR. URL: <https://socialanalyticsplus.net/crystalfeel> (pogledano 30. 8. 2022.)
- [6] <https://developer.twitter.com/en/products/twitter-api/academic-research> (pogledano 15. 4. 2022.)
- [7] Alaa Khudhair Abbas i dr. "Twitter sentiment analysis using an ensemble majority vote classifier". en. Xi'nan Jiaotong Daxue xuebao

Kratka biografija:



Filip Zdelar rođen je u Sremskoj Mitrovici 1998. god. Filip Zdelar rođen je 23. novembra 1998. godine u Sremskoj Mitrovici, Republika Srbija. Osnovnu školu pohađao je u selu Šašinci, dok je srednju školu završio u Novom Sadu, gde je bio član odeljenja za darovite matematičare. Tokom školovanja isticao se na takmičenjima iz matematike, fizike i programiranja, plasirajući se na republičkom nivou. Godine 2017. upisao je Fakultet tehničkih nauka na Univerzitetu u Novom Sadu, sa smerom informacionog inženjeringa. Filip je takođe dobitnik Dositejeve nagrade. Na fakultetu je postigao izuzetne rezultate i diplomirao je sa prosekom ocena od 9,67. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva Inteligentni sistemi odbranio je 2023.god. kontakt: filipzdelar@gmail.com



HETEROGENO INTEGRISANI KAPACITIVNI SENZOR ZA ODREĐIVANJE SILE NA STOPALIMA

HETEROGENEOUSLY INTEGRATED CAPACITIVE SENSOR FOR DETERMINING THE FORCE ON THE FEET

Teodora Kostić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu je prikazano projektovanje, fabrikacija i testiranje kapacitivnih senzora sile. Realizovana su dva tipa heterogenih senzora korišćenjem PCB tehnologije, 3D tehnologije, provodnog tekstila i silikonske gume Ecoflex. Određene su karakteristike fabrikovanih senzora pri delovanju mase do 50kg, a nakon toga su tri ispitanika testirala senzore u dva različita stanja, sedenja i stajanja.

Ključne reči - Kapacitivni senzori sile, stopalo, 3D tehnologija, provodni tekstil, PCB tehnologija

Abstract – This paper presents the design, fabrication, and testing of capacitive force sensors. Two types of heterogeneous sensors were realized using PCB technology, 3D technology, conductive textile, and silicone rubber Ecoflex. The characteristics of the manufactured sensors were determined under the action of a mass of up to 50 kg, and after those three examinees tested the sensors in two different states, sitting and standing.

Keywords: Capacitive force sensors, foot, 3D technology, conductive textile, PCB technology

1. UVOD

Potreba za korišćenjem sve većeg broja senzora u oblasti medicine i sporta dovela je do digitalizacije medicinskih uređaja. Pojava IoT-a (eng. *Internet of Things*) je doprinela ubrzanju digitalizacije, koja podrazumeva prikupljanje i analizu podataka, dobijenih u realnom vremenu. Cilj primene ovakvih uređaja je mogućnost njihove svakodnevne upotrebe uz daljinsko praćenje nadležnog medicinskog osoblja.

Jedan od najčešće korišćenih senzora sile su kapacitivni senzori. Njihova kapacitivnost se može menjati pri spoljašnjim mehaničkim stimulansima [1]. Najjednostavniji kapacitivni senzori se sastoje od dve elektrode između kojih se nalazi dielektrični sloj, a do promene kapacitivnosti može doći pri promeni površine elektroda, njihovog međusobnog rastojanja, ali i karakteristika dielektričnog sloja.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Milica Kisić, docent.

2. ANALIZA LJUDSKOG HODA

Plantarni pritisak je pritisak koji se vrši između donja i potporne površine. Merenje plantarnog pritiska pruža ključne informacije o ljudskom zdravstvenom stanju.

Ljudski hod zahteva koordinaciju nervnog i mišićno-skeletnog sistema kako bi se obezbedila ravnoteža tokom kretanja. Može se proučavati zbog njegove ciklične prirode, koja je u literaturi poznata kao „ciklus hoda” [2]. Ovo stanje omogućava identifikaciju normalnih i patoloških obrazaca. Za početak ciklusa hoda se uzima momenat kada klateća noga udari petom o podlogu. Ciklus se završava kada ista noga ponovo udari petom o podlogu.

Za vreme jednog ciklusa hoda, svaka noga prolazi kroz dve glavne faze: faza oslonca i faza njihanja (klaćenja). Ciklus hoda se može definisati kao interval između dve uzastopne radnje koje se ponavljaju tokom hoda.

Nedavni razvoj u tehnologijama IoT unapređuje i poboljšava kvalitet zdravstvene zaštite i biomedicinske oblasti. Proučavanjem obrazaca pritiska i ciklusa rada hoda pomoću „pametnih” uložaka sa ugrađenim senzorima sile postiže se efikasnije, fleksibilnije i preciznije prikupljanje informacija o funkcionalnosti stopala, ali i zdravstvenom stanju ispitanika.

3. DIZAJN SENZORA ZA MERENJE MASE/SILE

U ovom radu je predložen kapacitivni senzor za merenje sile na stopalima. Senzor se sastoji od dve elektrode između kojih se nalazi odstoynik koga čine dva polucilindra, odnosno brazde.

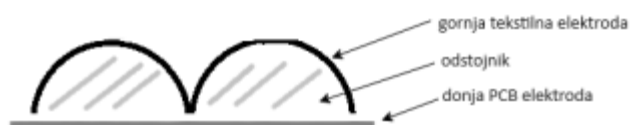
Projektovana su dva senzora. Kod jednog su elektrode čvrste, nesavijljive i izrađene u tehnologiji štampanih ploča (eng. *Printed Circuit Board*, PCB). Deo prostora između dve elektrode je ispunjen vazduhom.

Kod drugog senzora je jedna elektroda savijljiva i naleže na odstoynik, pa je između elektroda prostor ispunjen dielektrikom. Ta savijljiva elektroda je izrađena od komercijalno dostupnog provodnog tekstila.

Poprečni presezi oba senzora prikazani su na slikama 1 i 2.



Slika 1. Poprečni presek senzora sa PCB elektrodama



Slika 2. Poprečni presek senzora sa tekstilnom elektrodom

3.1. Izrada odstoynika

Odstojnik je izrađen korišćenjem Ecoflex-a [3]. Ecoflex su silikonske gume i mogu se koristiti, na primer, za izradu uložaka u ortopediji.

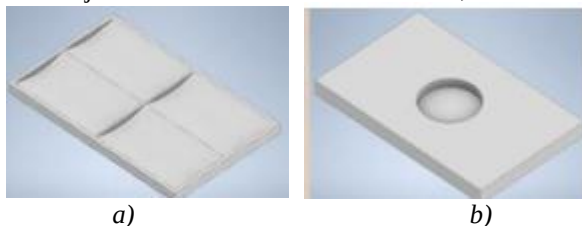
U početku predstavljaju tečnost od dve komponente, pri čemu je prvi (A) osnovni deo, a drugi (B) inicijator polimerizacije. Mešaju se u razmeri 1A:1B po težini ili zapremini. Nakon što ih pomešamo, potrebno je tu homogenu smesu da ubacimo u odgovarajuću modlu i ostaviti da materijal očvrstne i dobije oblik modle.

3.2. Dizajn modle urađen putem 3D tehnologije

Kako bismo izradili specifičan dizajn odstoynika, bilo je potrebno da izradimo modlu pomoću 3D štampača [4]. 3D štampači omogućavaju dizajnerima da pređu direktno od konceptnih ideja i dizajna do fizičkih modela.

Za izradu je korišćena tehnologija istopljenog filameta. Objekat se kreira nanošenjem sloja po sloj materijala, polimera, poznatog kao filament.

3D dizajn modle je prikazan na slici 3a. Izrađene su 3 modle različitih dimenzija, odnosno visina centra brazde. Dimenzije visine centra brazde iznose 2mm, 3mm i 5mm.

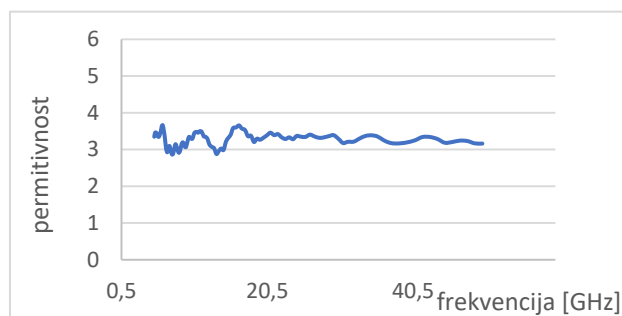


Slika 3. 3D prikaz a) odstoynika, b) modela postolja

Za testiranje senzora koristila se šipka na kojoj su ređani tegovi, tako da je bilo neophodno dizajnirati i izraditi postolje kao držač šipke. Postolje na sredini ima otvor koji odgovara prečniku šipke, slika 3b. Iste je površine kao i površina senzora, tj. elektroda, kako bi se sila rasporedila uniformno po celoj površini senzora.

3.3. Permitivnost odstoynika

Keysight 85070E [5] je set pomoću kojeg se može odrediti permitivnost mnogih materijala u širokom frekventnom opsegu. Za merenje je podešen frekvencijski opseg od 500 MHz do 50 GHz. Nakon toga se vrši kalibracija kroz tri različite sredine. Prva je vazduh, gde je kraj probe otvoren, druga predstavlja kratak spoj i treća podrazumeva da se proba ubaci u vodu na poznatoj temperaturi.



Slika 4. Zavisnosti permitivnosti od frekvencije odstoynika od 5cm

Merenja su pokazala da je permitivnost oko 3.2 što je predstavljeno na slici 4. Dobijeni rezultati se poklapaju sa podacima koji su dati u specifikaciji Ecoflex-a.

4. FABRIKACIJA SENZORA

Za izradu elektroda dva tipa kapacitivnih senzora su korišćeni: provodan tekstil i PCB tehnologija.

4.1. PCB tehnologija

Prilikom izrade, od jednog velikog komada ploče na kojoj se nalazi sloj bakra, odsekli smo dva ista oblika koja nam predstavljaju dve elektrode. Izvučene su žice, odnosno kontakti, sa obe elektrode radi povezivanja mernog instrumenta sa senzorom. Na slici 5 prikazan je sklopljen senzor sa PCB elektrodama dimenzija 50mm × 80 mm.



Slika 5. Prikaz dobijenog senzora sa PCB elektrodama

4.2. Provodni tekstil

Kombinacija tekstilnih i Ecoflex materijala može da obezbedi kreiranje senzora koji su udobni, izdržljivi i koji reaguju na pokrete i pritisak stopala.



Slika 6. Prikaz tekstilne trake i prikaz sklopljenog senzora sa postoljem spremnim za merenje

Za izradu jedne (gornje) elektrode senzora, korišćen je komercijalni provodan tekstil. Kao što je prikazano na slici 6, izvučen je kontakt sa tekstilne elektrode kako bi se senzor povezao na merni instrument. Druga elektroda je realizovana u PCB tehnologiji. Elektrode su pravougaonog oblika dimenzija 50mm × 80 mm između kojih se stavlja odstoynik.

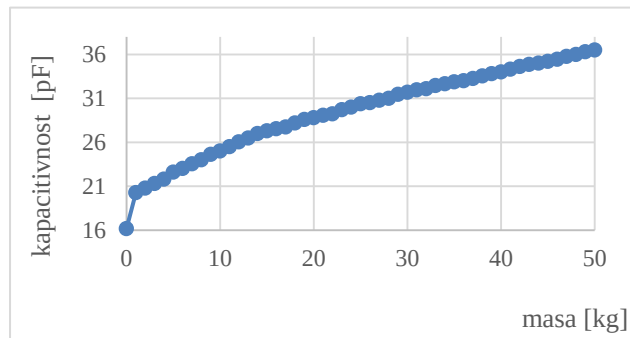
5. TESTIRANJE SENZORA

Kako bi se dobio što veći merni opseg sile, prvo se testiranje senzora vršilo nad senzorom debljine odstoynika od 5mm. Za testiranje se koristio merni instrument 4277A LCZ METER [6]. Izabrana je frekvencija 1MHz. Nakon podešavanja instrumenta, povezujemo i senzor.

Kao što je rečeno, tegove koristimo za delovanje različitih opterećenja. Pored tegova, za testiranje se koristi i šipka na kojoj se ređaju tegovi. Merenja su rađena do 50 kg.

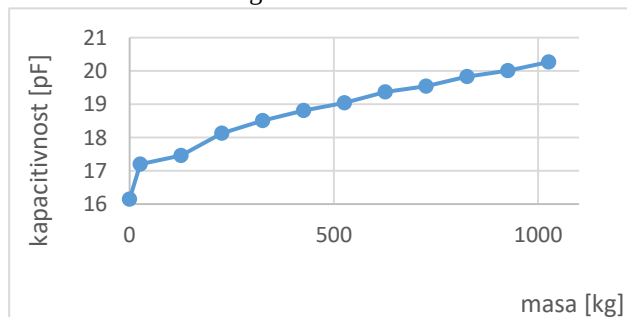
5.1. Testiranje senzora sa PCB elektrodama

Najpre je testiranje rađeno do 50kg sa različitim kombinacijama tegova kako bi se dostigla željena težina. Odrađena su merenja u 50 tačaka u koracima od 1 kg, što je prikazano na slici 7. Korišćen je odstoynik debljine od 5mm.



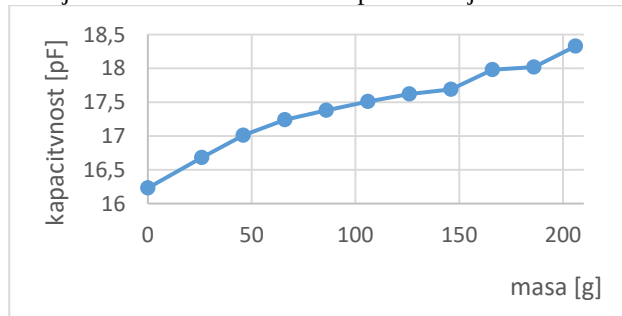
Slika 7. Zavisnost kapacitivnosti od mase do 50kg

Kao što je i očekivano, kako su se dodavali kilogrami, tako je kapacitivnost senzora rasla. Dakle, za 50kg je izmerena i najveća kapacitivnost. Primetna je brža promena u opsegu od 0kg do 1kg, te je shodno tome odlučeno da se izvrši posebno merenje u tom opsegu sa korakom od 100g. Prilikom ovog testiranja se nisu koristili tegovi iz razloga što nam njihova težina nije odgovarala, već se koristila voda. U praznoj flaši se dodavala voda od 100g.



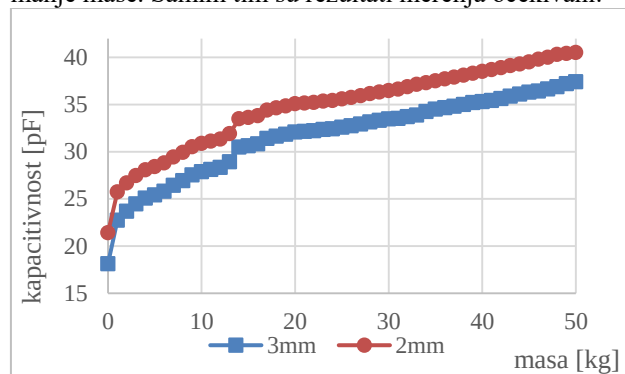
Slika 8. Zavisnost kapacitivnosti za mase do 1kg

Kako je opet pokazano na slici 8, da u jednom delu karakteristike imamo veći skok nego u ostatku, odlučeno je da se uradi još detaljnije merenje. Ovog puta je korak bio 20g, ista flaša se koristila, u opsegu od 0g do 200g. Dobijena linearna karakteristika prikazana je na slici 9.



Slika 9. Zavisnost kapacitivnosti za mase do 200g

U početnom trenutku pri malim silama, menja se oblik odstoynika. Samim tim će se deo vazdušnog procepa popunjavati Ecoflex-om. Nakon toga, kada odstoynik se poravna i elektrode u potpunosti nalegnu na njega, menja se samo rastojanje između elektroda pri delovanju većeg opterećenja. To je razlog zašto je senzor najosetljiviji za manje mase. Samim tim su rezultati merenja očekivani.

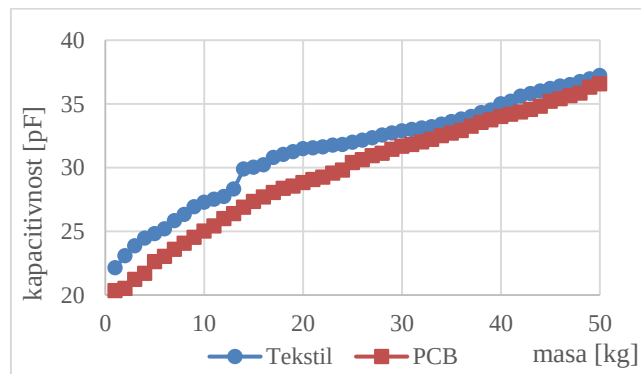


Slika 10. Zavisnost kapacitivnosti u odnosu na masu do 50kg

Takođe, i za odstoynike od 2mm i 3mm su odrađena merenja do 50kg, što je i prikazano na slici 10.

5.2. Testiranje senzora sa tekstilnim elektrodama

I kod ovog senzora, koristi se odstoynik kao i kod prethodnog senzora, samo što ovog puta na njega elektroda naleže i prati oblik odstoynika. Postupak testiranja je odrađen na identičan način kao i prilikom korišćenja PCB elektroda. Senzori su testirani za masu do 50kg, ali su pokazali najveću osetljivost za male mase do 1kg i 200g, pa se u tom opsegu mogu koristiti kod na primer, malih, preciznih vaga.



Slika 11. Zavisnost kapacitivnosti u odnosu na masu do 50kg

Na slici 11 su objedinjeni rezultati obe vrste senzora za debljinu odstoynika od 5mm. Može se uočiti da su veće vrednosti kapacitivnosti dobijene korišćenjem tekstila pri manjim silama, a nakon što odstoynik dobije isti oblik, krive se poklapaju.

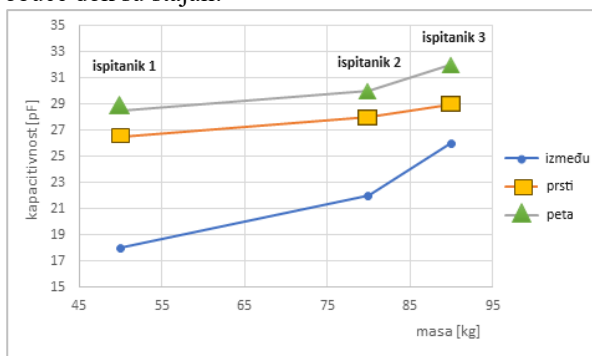
5.3. Testiranje senzora pri sedenju i stajanju

Nakon određivanja karakteristika, senzori su postavljeni ispod obuće ispitanika. Tokom testiranja su posebno razmotrene oblasti koje pružaju najviše informacija, a to

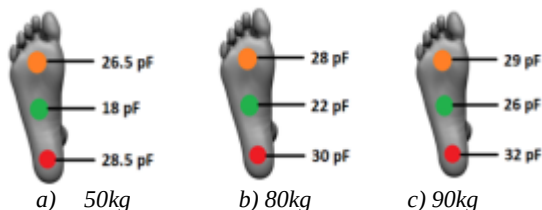
su oblasti kod prstiju, peta i regija između. Analizom raspodele opterećenja u ovim oblastima, medicinski profesionalci mogu da identifikuju i prate patologije kao što su razni deformiteti.

Da bi se analiziralo ponašanje senzora u odnosu na silu se deluje u kontrolisanim uslovima. U testiranju su učestvovala tri osobe sa različitim brojem kilograma. Uslovi ispitivanja su bili takvi da se prvo merila kapacitivnost ispitanika kada nalegne senzor na prstima, zatim u središnjem delu stopala i na peti. Postupak je podrazumevao i kada su ispitanici u sedećem položaju i u položaju stajanja.

Pri testiranju korišćen je heterogeni senzor sa PCB elektrodama. Odstojnik je debljine od 5mm. Na slici 12 je prikazano testiranje kada su ispitanici u sedećem položaju. Na slici 12 može se videti da je povećanje vrednosti kapacitivnosti direktno proporcionalno težini. Ispitanik 1 ima 50kg, ispitanik 2 ima 80kg i ispitanik 3 ima 90kg. Kao što je očekivano, najveći pritisak je na peti, zatim kod prstiju i najmanji u regiji između, slika 13. Nakon toga, ispitanicima su senzori postavljeni ispod obuće dok su stajali.

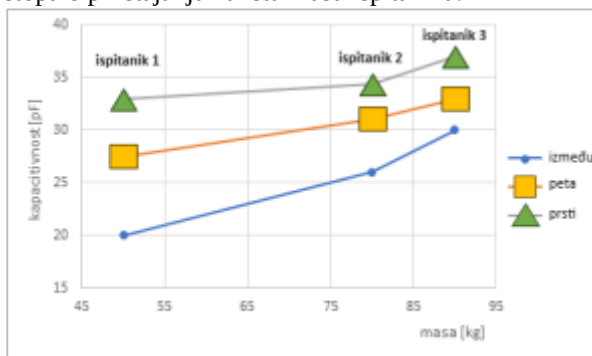


Slika 12. Zavisnost kapacitivnosti za mase do 90kg prilikom sedenja

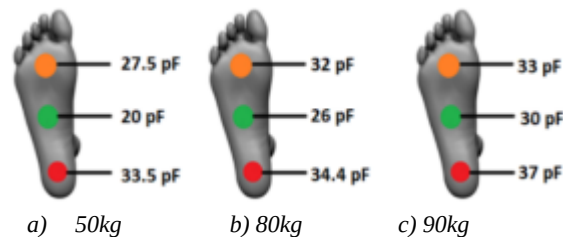


Slika 13. Prikaz kapacitivnosti u ključnim tačkama

Kao što se sa dobijenih rezultata može videti na slikama 14 i 15, i kao što je očekivano, veći pritisak deluje na stopalo pri stajanju za istu masu ispitanika.



Slika 14. Zavisnost kapacitivnosti za mase do 90kg prilikom stajanja



Slika 15. Prikaz kapacitivnosti u ključnim tačkama

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je razvoj senzora za merenje sile na stopalima. Projektovani su senzori koji se mogu primeniti u različitim sferama života, naročito u medicini i sportu.

Senzori su testirani za masu do 50kg, ali su pokazali najveću osetljivost za male mase do 200g i 1kg, pa se mogu u tom opsegu koristiti na primer, kod malih, preciznih vaga.

Senzori predstavljeni u ovom radu mogu biti sastavni delovi sistema za mapiranje sile na stopalima. Slanjem podataka sa senzora na celoj površini uložaka, mogu se dobiti 2D ili 3D prikazi raspodele sile. Ovi podaci mogu pomoći stručnjacima za dijagnostifikovanje i lečenja raznih stanja povezanih sa stopalima, kao i za dizajniranje prilagođenih uložaka i obuće.

7. LITERATURA

- [1]<https://www.hbproducts.dk/en/about/the-capacitive-measurement-principle>, pristupljeno dana 05.01.2023.
- [2]https://www.fasserbia.com/wp-content/uploads/2019/03/analiza_hoda_literatura.pdf, pristupljeno dana 10.01.2023.
- [3]<https://www.smooth-on.com/products/ecoflex-00-30/>, pristupljeno dana 13.01.2023.
- [4]<https://builtin.com/3d-printing>, pristupljeno dana 25.01.2023.
- [5]<https://www.keysight.com/us/en/product/85070E/dielectric-probe-kit.html>, pristupljeno dana 07.02.2023.
- [6]<https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/blog/laboratorija-za-mikroelektroniku-elektrotehnicke-materijale-i-cad/hp-model-4277a-lcz-meter/>, pristupljeno dana 12.02.2023.

Kratka biografija:



Teodora Kostić rođena je u Pirotu 1998. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Primenjena elektronika, odbranila je 2021. godine.

ОБРАДА СЛИКЕ ПОМОЋУ TENSORFLOW И КОНВОЛУЦИЈСКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА**IMAGE PROCESSING USING TENSORFLOW AND CONVOLUTIONAL NETWORKS**Петар Цанић, Факултет техничких наука, *Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКО И РАЧУНАРСКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Кратак садржај: – *Машинско учење доживљава значајан пораст и примену у широком спектру проблема различитих индустрија. Исправан рад техничко-технолошког система са камером који користи технологије машинског учења захтева прецизно препознавање слика. Тренутни проблем у индустрији се дефинише као класификациони проблем у машинском учењу који зависи од количине и обраде података, сложености система као и других параметара.*

Кључне речи: *Неуронске мреже, конволуционе мреже, модели неуронске мреже, препознавање слика*

Abstract – *Machine learning is experiencing significant growth and application across a broad spectrum of problems in various industries. The proper functioning of a technical-technological system with a camera that uses machine learning technologies requires accurate image recognition. The current issue in the industry is defined as a classification problem in machine learning, which depends on the amount and processing of data, the complexity of the system, and other parameters.*

Keywords: *Neural networks, Convolutional Neural Networks, neural network models, image recognition*

1. УВОД

У општој употреби, израз "вештачка интелигенција" означава програм који oponаша људско учење и размишљање. Неке ствари које повезујемо са другим стварима, као што су учење и решавање проблема, могу да ураде компјутери, али не на исти начин као људи - способност система да правилно тумачи податке, да учи из таквих података и да користи та учења за постизање специфичних циљева и задатака кроз флексибилно прилагођавање [1].

Приликом брзог развијања поља вештачких интелигенција (AI) и машинског учења, Tensorflow се појавио као практична библиотека. Развио га је Google Brain, Tensorflow је оквир за учење који је стекао распрострањену популарност. Обезбеђује флексибилну и променљиву платформу за изградњу, обуку и примену модела за учење машина, посебно неуронских мрежа. Једна од најважнијих примена Tensorflow-а јесте препознавање слика, где се модели могу обучити да разумеју и тумаче визуелни свет [1].

Напомена:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Александар Селаков

2. АРХИТЕКТУРА CNN-а

Конволуцијска мрежа састоје се од више слојева, од којих сваки има одређену улогу у препознавању образа. Кључни слојеви у типичној CNN архитектури укључују:

- **Улазни слој:** улазни слој прихвата вредности пиксела слике. Димензије овог слоја одговарају висини, ширини и каналима боја слике слике (нпр. црвена, зелена, плава за RGB слике).
- **Слојеви конволуције:** конволуционални слојеви су основни блокови CNN-а. Састоје се од скупа филтера који се могу учити (називају се и језгра) који скенирају преко слике уноса да би се издвојили локални обрасци и функције. Конволуциони слојеви могу да имају више филтера, производећи скуп мапа функција [2].
- **Слојеви за активацију:** након операције конволуције, примењује се функција за активацију (обично RELU) да би се у модел увела нелинеарност. Ово омогућава мрежи да научи сложене релације у подацима [2].
- **Слојеви за смањивање:** ови слојеви служе за смањивање просторне димензије (ширина и висина) док задржавају основне информације. Служи да се смањи комплетна сложеност мреже и чини је робуснијом за варијације у уносу.
- **Потпуно повезани слојеви:** потпуно повезани слојеви су традиционални неурални мрежни слојеви где је сваки неурон повезан са сваким неуроном у претходним и наредним слојевима [2].
- **Излазни слој:** излазни слој даје коначно предвиђање или резултат класификације. У препознавању слике, излазни слој често има неуроне који одговарају различитим класификацијама предмета на сликама (на пример, за класификацију објеката на сликама).

3. КЉУЧНИ КОНЦЕПТИ И ПРЕДНОСТИ

3.1 Хијерархијско учење

CNN-ови уче хијерархијске приказе функција. Доњи слојеви откривају основне карактеристике попут ивица и текстура, док виши слојеви науче сложеније обрасце и делове објекта.

Овај хијерархијски приступ чини CNN-ове веома ефективним у хватању комплексних детаља у сликама.

У конволуционим слојевима исте тежине филтера примењују се на различите просторне позиције у уносу. Ово дељење тежине у великој броју смањује број параметара у поређењу са потпуно повезаним мрежама, нудећи CNN-ове компатибилно ефикасним.

3.2 Инваријација

CNN су инхерентно преводилачки инваријантни, што значи да могу да препознају обрасце без обзира на њихову позицију на слици. Ово својство их чини погодне за задатке попут откривања објеката и класификације слика [3].

3.3 Унапред обучени модели

За разне задатке препознавања слика доступни су CNN модели, као што су VGG, ResNet. Ови модели су обучени на великим скуповима података и могу се прецизно подесити за одређене апликације, уштедети значајно време обуке и ресурсе.

4. НЕКОЛИКО КЉУЧНИХ ТАЧАКА О ВИШЕКЛАСНОЈ КЛАСИФИКАЦИЈИ

У вишекласној класификацији, постоје три или више међусобно искључивих класа или категорија којима алгоритам мора доделити сваку тачку улазних података. Ове класе могу представљати различите исходе, ознаке или класе, у зависности од конкретног проблема који се решава. На пример, може се користити за класификацију слика животиња у категорије као што су "мачка", "пас", "коњ", "слон" итд.

Уобичајени примери проблема са класификацијом у више класа укључују категоризацију текста (додељивање докумената вишеструким темама или категоријама), препознавање слика (идентификовање објеката или објеката на сликама) и медицинску дијагнозу (класификовање болести у различите категорије)

Излаз вишекласног модела класификације је типично дистрибуција вероватноће на све могуће класе за дату тачку улазних података. Свакој класи се додељује оцена вероватноће, а класа са највећом вероватноћом сматра се предвиђеном класом за ту тачку података.

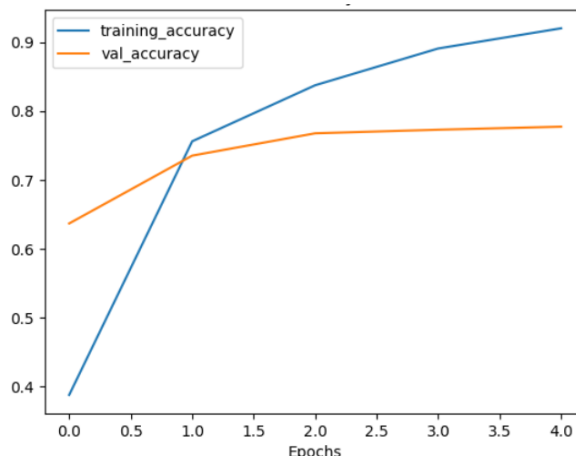
Функција губитка: у обуци модела класификације са више класа, функција губитка (често губитак унакрсне ентропије) се користи за мерење разлике између предвиђених вероватноћа и стварних ознака класе. Параметри модела се прилагођавају током тренинга како би се минимизирао овај губитак.

Метрике евалуације: уобичајене метрике евалуације за вишекласну класификацију укључују тачност

(пропорција исправно класификованих инстанци), прецизност, опозив, F1-скор и матрице конфузије. Ове метрике помажу у процени перформанси модела и његове способности да разликује различите класе.

Алгоритми: различити алгоритми машинског учења могу се користити за класификацију у више класа, укључујући логистичку регресију, стабла одлучивања, насумичне шуме, машине за подршку векторима, к-најближе суседе и технике дубоког учења као што су неуронске мреже.

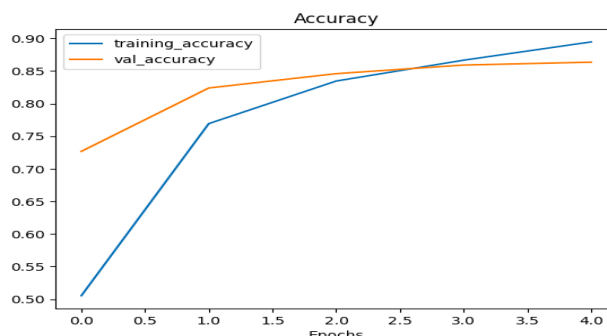
5. ПОНАШАЊЕ ДВА МОДЕЛА ПРЕУЗЕТА СА Tensorflow-Hub-a



СЛИКА 1 ГРАФИЧКИ ПРИКАЗ ПРЕДИКЦИЈЕ МОДЕЛА 1

Epoch 1/5 [=====] - 28s 680ms/step - loss: 1.7915 - accuracy: 0.3880 - val_loss: 1.1463 - val_accuracy: 0.6368
Epoch 2/5 [=====] - 14s 620ms/step - loss: 0.8710 - accuracy: 0.7560 - val_loss: 0.8359 - val_accuracy: 0.7352
Epoch 3/5 [=====] - 14s 618ms/step - loss: 0.6160 - accuracy: 0.8373 - val_loss: 0.7385 - val_accuracy: 0.7676
Epoch 4/5 [=====] - 15s 624ms/step - loss: 0.4705 - accuracy: 0.8907 - val_loss: 0.7016 - val_accuracy: 0.7728
Epoch 5/5 [=====] - 15s 606ms/step - loss: 0.3744 - accuracy: 0.9208 - val_loss: 0.6784 - val_accuracy: 0.7772

СЛИКА 2 ПРИКАЗ ПРОМЕНЕ ПАРАМЕТАРА ЗА МОДЕЛ 1 КРОЗ ЕПОХЕ



СЛИКА 3 ГРАФИЧКИ ПРИКАЗ ПРЕДИКЦИЈЕ МОДЕЛА 2

Epoch 1/5 [=====] - 26s 693ms/step - loss: 1.7622 - accuracy: 0.5953 - val_loss: 1.2434 - val_accuracy: 0.7268
Epoch 2/5 [=====] - 15s 634ms/step - loss: 1.0120 - accuracy: 0.7693 - val_loss: 0.8459 - val_accuracy: 0.8240
Epoch 3/5 [=====] - 15s 642ms/step - loss: 0.8347 - accuracy: 0.8347 - val_loss: 0.6823 - val_accuracy: 0.8460
Epoch 4/5 [=====] - 15s 637ms/step - loss: 0.5871 - accuracy: 0.8667 - val_loss: 0.6004 - val_accuracy: 0.8592
Epoch 5/5 [=====] - 14s 620ms/step - loss: 0.5813 - accuracy: 0.8947 - val_loss: 0.5504 - val_accuracy: 0.8636

СЛИКА 4 ПРИКАЗ ПРОМЕНЕ ПАРАМЕТАРА ЗА МОДЕЛ 2 КРОЗ ЕПОХЕ

Слике изнад прате како се перформансе модела мењају са сваком епохом обуке. Види се да се губитак модела смањује и његова прецизност расте и на скуповима података за обуку и валидацију, што је позитиван знак учења.

Скуп податак коришћен за обуку модела је прилагођен скуп ради бржег напретка и евалуације модела узете су све категорије али свака категорија садржи само 10% података (поступак је одрађен само

на тренинг подацима), јер је модел трениран на великом скупу података и тиме ћемо само мало променити његове параметре и биасе.

Овај код обучава модел на смањеном скупу података (10% података за обуку) и бележи напредак обуке.

Уобичајена је пракса да се у почетку обучи модел на мањем подскупу података ради бржег експериментисања пре обучавања на целом скупу података ако архитектура модела и хиперпараметри изгледају обећавајуће.

Укупно, оба параметра `ассигасу` и `val_ассигасу` расту кроз сваку епоху, што указује на то да се модел успешно прилагођава тренинг подацима и да има способност за генерализацију на новим подацима. Растући `val_ассигасу` у исто време са `ассигасу` представља позитиван знак и указује на добре перформансе модела.

Модел успешно предвиђа 85%, на мањем скупу података. Побољшање модела је могуће ако повећамо скуп података и тако да модел може да направи више шаблона за препознавање, одмрзавање последњих слојева тако да се поново израчунају на тренутни сет података за разлику од тренираног сета.

Поређењем ова два претходна лога могу се закључити, оба лога су са сличним вредностима `ассигасу` и `val_ассигасу` у првој епохи. У оба лога `ассигасу` на тренинг скупу се постепено повећава кроз сваку епоху, што указује на то да се модел успешно прилагођава тренинг подацима.

Што се тиче `val_ассигасу` на валидационом скупу, оба лога такође показују повећавање кроз епохе, што указује на способност модела да општује на новим подацима.

Први лог има ниже почетне вредности `ассигасу` и `val_ассигасу`, али успева да достигне сличне вредности као и други лог након неколико епоха обучавања. У оба случаја, модели се успешно прилагођавају и показују способност за опште предвиђање на валидационом скупу, што је пожељно својство.

6. ЗАКЉУЧАК

У закључку, Tensorflow, широко коришћена библиотека машинског учења коју је развио Google, вешта је у препознавању слика путем конволуционих неуронских мрежа (CNN). CNN су специјализована класа модела дубоког учења дизајнираних за задатке у вези са сликама, као што су класификација слика, детекција објеката и сегментација слике. Tensorflow пружа робустан оквир за имплементацију и обуку CNN-а за обављање задатака препознавања слика са изузетном тачношћу.

CNN користе хијерархијску архитектуру која се састоји од више слојева конволуционих и операција удруживања. Ови слојеви уче да аутоматски издвајају и идентификују значајне карактеристике из улазних слика, као што су ивице, текстуре и узорци. Дубљи слојеви постепено хватају апстрактније и сложеније репрезентације, омогућавајући мрежи да препозна

визуелне концепте високог нивоа као што су објекти, облици и структуре.

Tensorflow поједностављује креирање CNN модела нудећи API високог нивоа који апстрахује многе детаље имплементације ниског нивоа. Програмери могу са лакоћом да дефинишу мрежну архитектуру, конфигуришу хиперпараметре и користе различите технике оптимизације. Штавише, Tensorflow подржава оба модела обуке од нуле и коришћење унапред обучених модела путем трансферног учења, омогућавајући ефикасно препознавање широког спектра категорија слика.

У практичном смислу, процес препознавања слике помоћу Tensorflow-а и CNN-а обично укључује претходну обраду података, избор модела и прилагођавање, обуку о означеним скуповима података, валидацију и фино подешавање да би се постигле жељене перформансе. Tensorflow такође нуди алате за оптимизацију модела, њихову примену у реалним апликацијама и предвиђање нових, неозначених слика.

Укратко, Tensorflow, са својом подршком за CNN, представља моћан алат за задатке препознавања слика, омогућавајући програмерима да искористе могућности *deep-learning-a* како би аутоматски и прецизно идентификовали објекте и обрасце унутар слика, утирујући пут широком спектру апликација. у областима као што су компјутерски вид, здравство, аутономна возила и још много тога.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] "TensorFlow" доступно:

<https://en.wikipedia.org/wiki/TensorFlow#Features> приступано: август-2023

[2] "Learn Convolutional Neural Network (CNN) in your browser!" доступно: <https://poloclub.github.io/cnn-explainer/>, приступано: октобар-2023

[3] "Deep learning" доступно:

https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning, приступано: октобар-2023

Кратка биографија:



Петар Цанић рођен је у Новом Саду 2000. године. Основне академске студије на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду уписао је 2018. године. Дипломирао је 27.09.2022. године и исте године уписао је мастер академске студије. Контакт : petar.canic55@gmail.com

PREGLED RASPOLOŽIVOG SOFTVERA ZA SOLARNE FN ELEKRANE

OVERVIEW OF AVAILABLE SOFTWARE FOR SOLAR PV POWER PLANTS

Žolt Kančar, Aleksandar Stanisavljević, Vladimir A. Katić,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu opisano je nekoliko softverskih alata za simulaciju fotonaponskih (FN) sistema. U cilju nastavka prethodnih istraživanja na temu komparacije FN softvera zadate su njihove karakteristike na osnovu kojih je po datim kriterijumima izvršena komparacija. Zatim je urađena simulacija u softveru koji se pokazao kao softver sa najvećim dijapazonom opcija na lokaciji u vlasništvu prvog autora. Rezultati ukazuju na pogodnost i dobar prikaz simulacije.

Ključne reči: softveri, solarni paneli, fotonaponski sistemi, simulacija.

Abstract – In this paper, several software tools for the simulation of photovoltaic (PV) systems are described. In order to continue the previous research on the topic of comparison of PV software, their characteristics are given, on the basis of which the comparison was made according to the given criteria. Then a simulation was done in the software that turned out to be the software with the largest range of options at the site owned by the first author. The results indicate the convenience and good representation of the simulation.

Keywords: Solar energy, PV power plants, Software tools.

1. UVOD

Pod pojmom solarna energija podrazumevamo energiju sunčevog zračenja koju primećujemo u obliku svetlosti i toplote kojom nas naša zvezda svakodnevno obasipa. Sunce je najveći izvor energije na Zemlji. Sem neposrednog zračenja koje greje Zemljinu površinu i stvara klimatske uslove u svim pojasevima, ovo zračenje je odgovorno i za stalno obnavljanje energije vetra, morskih struja, talasa, vodnih tokova i termalnog gradijenta u okeanima. S obzirom na svoju prirodu i dostupnost, ovo zračenje se smatra „čistim“ i obnovljivim izvorom energije [1].

U sklopu borbe protiv emisije štetnih gasova, koji uzrokuju klimatske promene, poslednjih godina se sve više podstiče, planira i realizuje korišćenje ovakvih izvora energije. Tradicionalni način je dobijanje termalne energije, dok je napredan neposredna proizvodnja električne energije korišćenjem fotonaponskog (FN) efekta u poluprovodničkim FN ćelijama.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Aleksandar Stanisavljević.

Zbog malog izlaznog napona i snage FN ćelije, one se grupišu serijskim i paralelnim vezama u FN module, odnosno u jedinice veće snage, FN panele. Današnji FN paneli su snaga između 250 W i 700 W standardnih dimenzija i zauzimaju površinu od oko 6 m²/kW.

Grupisanjem FN panela u nizove (*string*) i njihovim paralelnim vezivanjem formiraju se FN elektrane, koje su snaga od nekoliko kW do više MW i zauzimaju velike površine (oko 1-1,5 ha/MW). Kako se FN elektrane ubrzano grade svuda po svetu, FN sistemi se moraju dalje poboljšavati. U tom smislu važna komponenta je razvoj odgovarajućih softverskih alata za određivanje solarnog potencijala i prognoziranje proizvodnje električne energije, te projektovanje samih FN sistema, odnosno FN elektrana [2]. Solarni potencijal predstavlja raspoloživu solarnu energiju, koja je dostupna na površini Zemlje i on zavisi od niza parametara, ali prvenstveno od lokacije. Za pretvaranje solarne u električnu energiju, bitan faktor je i tip i kvalitet FN ćelije, njena efikasnost, upadni pravac solarnog zračenja na FN panel, temperatura FN ćelije, njen životni vek i dr. Ovi parametri se koriste za prognoziranje, odnosno procenu očekivane proizvodnje električne energije datog FN sistema, korišćenjem odgovarajućeg modela performansi. Upotreba simulacionih softverskih paketa je popularna tehnika i alat, jer ne samo da omogućava korisnicima da modeluju, već i da analiziraju FN sisteme, njihovu proizvodnju i da daju dugoročnu prognozu.

Cilj rada jeste da izvrši komparaciju raspoloživih softverskih alata uvažavajući specifične, originalno definisane kriterijume njihove upotrebe u FN sistemima.

2. KRATAK PREGLED LITERATURE

U literaturi, i na različitim Internet portalima i stranicama pojavljuje se veliki broj prikaza i poređenja različitih softvera, odnosno softverskih alata za FN sisteme. Oni daju pregled i upoređenje karakteristika raspoloživih, komercijalnih softverskih alata, te niz praktičnih primera primene. U ovom ograničenom prostoru, nije ih moguće sve pomenuti i objasniti, pa će u nastavku biti predstavljeni samo prikazi iz naučne literature objavljeni u poslednjem periodu i to sa studentskim pogledom na ovu problematiku.

U [3] je dat pregled deset različitih FN softvera sa ciljem da korisnik lakše izabere softver koji će obezbediti dobijanje najpreciznijih podataka za simulaciju, ekonomsku evaluaciju, analizu i planiranje FN sistema.

U [4] je rangirano čak 12 savremenih FN softvera. Osnovni kriterijum je bio dostupnost softverskih paketa

za korisnika, kao i odnos cene i kvaliteta. Najbolje je ocenjen Solar Labs softver.

Značajan doprinos istraživanju dat je u [5] gde je urađena simulacija FN elektrane u Nišu korišćenjem 14 softvera. Cilj je bio da se kroz poređenje primene u konkretnom slučaju dođe do softvera, koji u najvećoj meri oslikava realnost. Rezultati su pokazali da se najmanje odstupanje od realno merenih podataka dobijalo primenom softverskog paketa SolarPro.

Problematika izbora najboljeg softvera za dizajn i projektovanje FN sistema se već duže vremena intenzivnije istražuje i na Fakultetu tehničkih nauka (FTN) u Novom Sadu. Ova institucija prednjači u primeni solarne energije, tako da su značajna istraživanja urađena u ranijem periodu [6], a prva FN elektrana priključena u elektroenergetski sistem Srbije bila je izgrađena i postavljena još 2011. god. na krovu FTN [7]. U nastavku je dat pregled najznačajnijih rezultata:

U [8] je predstavljeno stanje u ponudi softverskih alata vezano za simulaciju pretvaračkog dela FN elektrane, kao i njihovih glavnih proizvođača. Urađeno je poređenje 17 softvera, s tim da su kriterijumi bili cena (sa najvećom težinom), broj komponenti, memorija, vreme učenja i opšti utisak. Kao najbolji, proglašen je PSIM firme Powersim Inc.

U [9] je urađena komparacija FN softvera upoređivanjem dostupnih paketa. Kriterijum je bio da je omogućen besplatan pristup, ali da dostupni alati zadovoljavaju sve potrebne performanse u vezi simulacije solarnog zračenja i projektovanja FN elektrana. Razmatrano je pet softvera (Sunny Design, Profotonapsis, PVsyst, Homer i PV Sol) po kriterijumima cene, izvora meteo podataka, praćenja (tracking), senčenja, prezentiranja izlaznih podataka, raspoloživosti modula i izbora FN invertora, vremenu učenja i na opšteg utiska. Nakon komparacije, autori su utvrdili da je Sunny Design najpovoljniji softver za planiranje FN elektrana.

Nova komparacija softvera PVGIS, RetScreen, PvPlanner, Homer, PVsyst i System Advisor Model (SAM) izvršena je u [10]. Korišćeni su kriterijumi funkcionalnosti, korisničkog interfejsa, obimnosti baze podataka o vremenskim uslovima, sveobuhvatnosti biblioteka modula i invertora, te dostupnosti i cene softvera. Najbolje je ocenjen softver Pvsyst, koji je iskorišćen za simulaciju FN elektrane na krovu FTN, a rezultati simulacije verifikovani sa merenim.

Slična tema je obrađena u [11], gde je urađena komparacija čak 11 softvera: PV*SOL premium 2018 (R6), PVsyst 6, RETScreen, Solmetric, BlueSol, HOMER Pro 3.11, PVSize, PV-F Chart, PVGIS 5, Polysun 10.2 i Sunny Design Web. Softveri su rangirani i ocenjivani po kriterijumima: operativni sistem, jezici, sistemske opcije, sistemi za praćenje kretanja Sunca, parametri lokacije sistema, vremenski podaci, mesto montiranja, gubici, senčenje, ekonomska analiza, opcija izbora baterija. Najbolje je rangirani softver PV*SOL premium 2018 (R6), a u radu je dat i jedan primer primene.

Različito predloženih optimalnih softvera nameće potrebu da se uradi još jedno poređenje, ali sa najnovijim dostupnim verzijama softvera. Traženi su popularni softveri koje se mogu koristiti i na online i na offline platformama kao i oni koji imaju širok dijapazon opcija.

Odabrano je osam najnaprednijih softverskih alata, koji su zatim detaljnije analizirani.

3. SOFTVERI ZA PLANIRANJE FN SISTEMA

U nastavku će ukratko biti predstavljeno 8 softvera, s tim da se detaljniji prikaz može naći u [8], gde su svi softveri dati kroz najvažnije karakteristike.

3.1. Pvsyst 7.3

PVsyst je najrasprostranjeniji softver za simulaciju solarne energije za procenu prinosa energije i za optimalno projektovanje solarnih elektrana. PVsyst koristi prošireno znanje o fotonaponskoj tehnologiji, podacima o resursima meteorološkog zračenja i komponentama fotonaponskog sistema. PVsyst nudi dve vrste solarne simulacije, preliminarni i projektni dizajn. U režimu preliminarne dizajna procene proizvodnje sistema se izvode veoma brzo u mesečnim vrednostima, koristeći samo vrlo malo opštih karakteristika sistema ili parametara, bez preciziranja stvarnih komponenti sistema.

3.2. Homer

Homer (Hibrid Optimization Model for Electric Renewables) je razvijen kompjuterski model 1992. godine od strane američke Nacionalne laboratorije za obnovljivu energiju (NREL) da pomogne u projektovanju mikroenergetskih sistema i da se olakša poređenje tehnologija za proizvodnju električne energije. Homer modelira fizičko ponašanje elektroenergetskog sistema i procenu njegovog životnog ciklusa, što je ukupna procena instaliranja i rada sistema tokom njegovog životnog veka. Homer simulira i optimizuje samostalne i mrežne sisteme za napajanje koji se sastoje od bilo koje kombinacije PV nizova. Simulacija uzima u obzir vremenski period od 1 godine koristeći minimalni vremenski korak od 1 minuta. To omogućuje analitičaru da uradi bilo kakve analize i da istražuje slučaje neizvesnosti ili promene ulaznih varijabli.

3.3. BlueSol 4

BlueSol je profesionalni alat za projektovanje fotonaponskih sistema. BlueSol pojednostavljuje projektovanje fotonaponskih postrojenja, pomažući korisniku u svim fazama projektovanja, počev od dimenzionisanja sistema do realizacije dokumentacije. Podržava dizajn i optimizaciju, kako tehničku tako i finansijsku, svakog tipa fotonaponskih sistema. Postoje sistemske opcije u vidu: sistemi povezani na mrežu, samostalni sistemi, sistemi povezani na mrežu sa skladištenjem baterija spojenih naizmeničnom strujom, sistemi povezani na mrežu sa DC-spregnutim skladištem baterija

3.4. RETScreen

Kao kvalitetno i širokoobuhvatno softversko rešenje danas se nudi RETScreen, preveden na 36 jezika, sa širokom lepezom pokrivenih obnovljivih izvora energije. Posebno se ističe mogućnost obračunavanja energetske efikasnosti, hlađenja, zagrevanja, pored dobijanja električne energije, što može itekako pomoći energetskim menadžerima i inženjerima. Pri projektovanju u softveru RETScreen postoje opcije u vidu odabira lokacije, objekta, energije, troškova, emisije kao i analiza rizika i osetljivosti.

3.5. HelioScope

HelioScope softver je u osnovi baziran na internetu. To je softver gde je potreban početni unos podataka o geografskoj dužini i širini područja ili unos podatak je moguć i preko ukucavanja tačnog naziva područja geografske lokacije. Takođe, izbor odgovarajućeg tipa panela i invertera, kao i kompletan raspored postrojenja se generiše automatski sa svim relevantnim podacima kao što je izlazna snaga gubitak sistema, energija u mreži, broj modula, pretvarači, grupisanje panela itd. Ukratko, može se reći da ovaj softver automatski proizvodi dizajn rasporeda značajnih komponenti.

3.6. Pylon

Pylon je softver za solarni dizajn zasnovan na webu koji su izradili solarni inženjer N. Zheng i programer D. Buckmaster 2016. god. Pylon je došao na tržište solarne industrije da popuni prazninu u softverima za solarni dizajn. Ispostavilo se da je lakši, pristupačniji za korišćenje od ostalih. Softver je veoma lak za korišćenje i ima sve funkcije koje su potrebne projektantima solarnih elektrana. Pylon je dizajniran neverovatno intuitivan i moderan. Dizajn je elegantan i lak za navigaciju, što čini projektovanje solarnog sistema lakim.

3.7. System Advisor Model (SAM)

SAM je tehnno-ekonomski računarski model dizajniran da olakša ljudima donošenje odluka koje su uključeni u industriju obnovljive energije. Da biste modelirali projekat obnovljive energije u SAM-u, birate model performansi ili finansijski model i dodeljuje se vrednost ulaznim varijablama kao što su lokacija projekta, vrsta opreme u sistemu, cena instalacije i rada sistema, kao i finansijske pretpostavke. SAM-ovi modeli performansi pokreću simulacije kako bi izračunali električnu snagu sistema za napajanje. Finansijski model koristi izlaz sistema za izračunavanje godišnjih novčanih tokova projekta i finansijske metrike.

3.8. PV*SOL premium 2023

Sa PV*SOL premium, industrijskim standardom za programe fotonaponskog dizajna, možete dizajnirati i simulirati sve vrste modernih fotonaponskih sistema. Od malog krovnog sistema sa nekoliko modula do sistema srednje veličine na komercijalnim krovovima do velikih solarnih parkova. PV*SOL premium vas podržava sa brojnim alatima za dizajn i simulaciju. Jedinstvena 3D vizualizacija je vrhunac PV*SOL premium softvera. Nudi vizualizaciju svih uobičajenih tipova sistema u 3D, bilo da su integrisani u krov ili na krov, bilo na malim krovovima, velikim industrijskim halama ili otvorenim prostorima.

Tabela 1. Rezultati komparativne analize

Softveri		Bodovi
1	BlueSol 4	51
2	PV*SOL premium 2023	46
3	System Advisor Model (SAM)	39
4	Pvsyst 7.3	37
5	Homer Pro 3.14	HelioScope
6	RETScreen	35
7	Pylon	33

4. KOMPARACIJA SOFTVERA

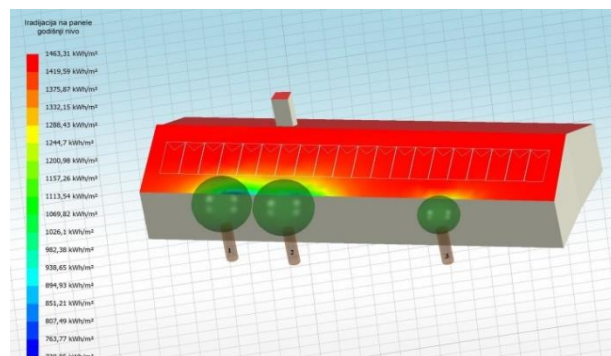
Nakon izvršenog pregleda dostupnih softvera izvršeno je poređenje njihovih karakteristika radi utvrđivanja koji je od njih najpogodniji za projektovanje FN sistema. Karakteristike softvera su razmtrane po 14 stavki (operativni sistem, jezici, cena, systemske opcije, sistemi za praćenje kretanja Sunca, parametri lokacije sistema, vremenski podaci, mesto montiranja, gubici, senčenje, električna šema, ekonomska analiza, opcija izbora baterija i dizajn) i ocenjivane od 0 do 5 bodova.

Komparativnom analizom prethodno opisanih softvera, dobijeni su rezultati u vidu ukupnog broja bodova (zbira svih ocena) i dati u Tabeli 1. Analizirajući date kriterijume softver BlueSol 4 se pokazao kao najbolji (51 od maksimalnih 67 bodova), jer je od 14 kriterijuma 7 puta ocenjen najvišom ocenom (cena, parametri lokacije sistema, gubici, senčenje, električna šema, ekonomska analiza, opcija izbora baterija). Iza njega je softver PV*SOL premium 2023 koji se takođe smatra dobrim za planiranje i modelovanje fotonaponskih sistema, i dobio je 46 bodova. Dok su ostali softveri sa ispod 40 bodova (PVSyst 7.3, Homer Pro 3.14, RETScreen, HelioScope, Pylon, System Advisor Model (SAM)), procenjeni kao pogodni za jednostavne projekte, koji ne zahtevaju puno opcija i detalja

5. SIMULACIJA U SOFTVERU BLUESOL

U cilju potvrde izvršena je simulacija u BlueSol 4 za izvođenje solarne FN elektrane na krovu kuće u čijoj okolini nema građevinskih objekata koji bi uzrokovali senčenje na panele. Lokacija fotonaponskog sistema se nalazi u Južnobačkom okrugu u opštini Srbobran na oko 30 km od Novog Sada. Na Sl.1 prikazan je 3D izgled kuće, kao i iznos zračenja, uticaj rastinja i predložena raspodela FN panela.

Veličinu FN sistema određuje softver uzimajući u obzir potrebe za električnom energijom jedne četvoročlane porodice, koje su zadate na 3353,8 kWh/god, a zatim određuje broj i veličinu FN panela i ostale komponente sistema. Izabrani su paneli modela Luxor Solar GmbH, invertori modela FRONIUS, baterije LG Chem RESU3.3 48V, dok je punjač baterija SMA Solar Technology Sunny Boy Storage 2.5. Ugrađen je jedan MPPT za dva stringa sa po 10 modula u seriji.

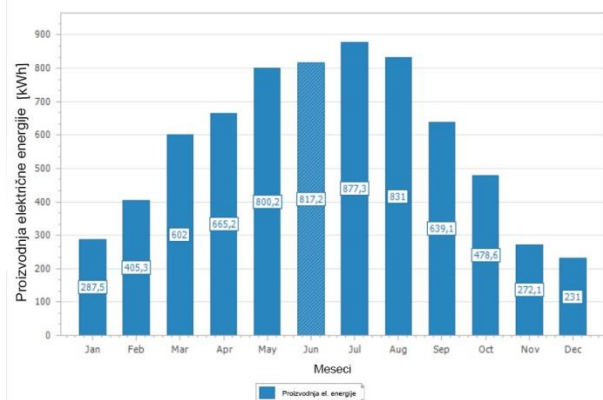


Sl. 1. Iradijacija na panele FN elektrane i senčenje

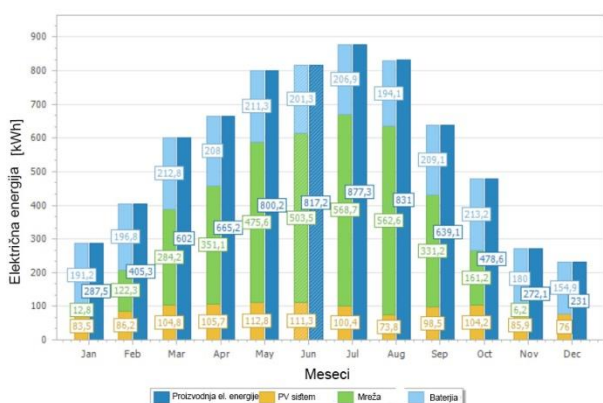
5.1. Rezultati simulacije

Vršna snaga FN panela je procenjena na 5,6 kWhp, dok je godišnja proizvodnja 1233,30 kWh/kWp. Redukcija proizvodnje prouzrokovana senčenjem je 2,52%/god. Na

osnovu datog grafika koji prikazuje godišnju prognozu proizvodnju energije FN sistema po mesecima (Sl.2.) utvrđena je očekivana najveća proizvodnja u prolećnim i letnjim danima kada je sunčeva radijacija najveća, kao i udeo ove proizvodnje u ukupnoj potrošnji kuće (Sl.3). Postavljanjem ove solarne elektrane na površni krova od 38,8 m² emisija CO₂ je na godišnjem nivou smanjena za 4143,9 kg/god.



Sl. 2. Prognoza godišnje proizvodnje po mesecima



Sl. 3. Udeo FN sistema u potrošnji kuće po mesecima

6. ZAKLJUČAK

U radu je dat opis i pregled trenutno dostupnih, najnovijih verzija softvera koji se koriste za planiranje i dizajn fotonaponskih sistema: Pvsyst 7.3, Homer Pro 3.14, BlueSol 4, RETScreen, HelioScope, Pylon, System Advisor Model (SAM) i PV*SOL premium 2023. Karakteristike korišćenih softvera su opisane u 14 stavki, po kojima je i izvršeno međusobno poređenje i bodovanje. Rezultati pokazuju da je softver *BlueSol 4* najbolji.

U cilju potvrde, demonstrirana je primena softvera *BlueSol 4* za projektovanje jedne kućne krovne FN elektrane. Prikazane su opcije koje softver nudi i njihovo korišćenje u svrhu što boljeg izbora efikasnog FN sistema.

7. LITERATURA

- [1] V. Katić, I. Kapetanović, V. Fuštić, „Obnovljivi izvori energije“, TEMPUS-CEFES, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [2] S. Deambi, „Photovoltaic System Design – Procedures, Tools and Applications“, CRC Press, Boca Raton (USA), 2020.

- [3] N.H. Umar, C. Banerjee, and B. Bora, “Comparison of different PV power simulation software: a case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant”, *Int. Journal of Engin. Science Invention (IJESI)*, Vol. 7, Iss. 2, July 2018, pp.11-24.
- [4] Akshay VR, “Best Solar Panel Design Software” 2023, Jun 14, 2022, Available online: <https://thesolarlabs.com/ros/best-solar-panel-design-software/>
- [5] D. Milosavljević, T. Kevkić, S. Jovanović, “Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on the case study”, *Open Physics*, Vol. 20, 2022, pp.431-451.
- [6] V. Katić et al., “Potentials of Renewable Energy Market in Serbia – Case of Wind and Solar Energy”, IEEE 8th Int. Conf. on European Energy Market – EEM 11, May 2011, Zagreb (Croatia), pp.785-790,
- [7] V.A. Katić i dr., “Realizacija krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu”, *Tehnika*, god. 70, br. 4, 2015, pp.655-662.
- [8] J. Belančić, V. Katić, „Pregled i primena softvera za simulaciju rada energetskih pretvarača u fotonaponskom izvoru električne energije”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 27, br. 1, 2012, pp.65-68
- [9] M. Petronijević, V. Katić, „Projektovanje fotonaponske elektrane – pregled softverskih alata“, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 27, br. 5, 2012, pp.1025-1028.
- [10] T. Savčić, V. Katić, „Pregled softverskih alata za simulaciju rada fotonaponskih sistema”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 33, br.11, 2018, pp.1992-1994.
- [11] A. Gavrilović, V. Katić, „Pregled raspoloživih softvera za solarne elektrane”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god.34, br.3, 2019, pp.554-557

Kratka biografija:



Žolt Kančar rođen je u Vrbasu 1998. god. Srednju Elektrotehničku školu „ETŠ Mihajlo Pupin“ završio je u Novom Sadu, 2016. god. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije 2021. god. Master studije na istom fakultetu i smeru završio je 2023. god.



Aleksandar Stanisavljević je rođen 1988. godine u Beogradu. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2019. god., gde je trenutno u zvanju docenta. Autor ili koautor je više od 20 naučnih radova od kojih su tri u vrhunskim međunarodnim časopisima.



Vladimir A. Katić rođen je 1954. god. u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Autor je ili koautor blizu 600 naučnih radova i saopštenja. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, kvalitet električne energije, obnovljivi izvori električne energije i električna vozila.

**ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНА АПЛИКАЦИЈА ЗА БЕЗБЕДНО ДИСТРИБУИРАНО
ЧУВАЊЕ ПОДАТАКА ПРИМЕНОМ БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈЕ****DECENTRALIZED APPLICATION FOR SECURE DISTRIBUTED DATA STORING
USING THE CONCEPTS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**

Николина Павковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – Овај рад се бави развојем децентрализоване апликације за безбедно дистрибуирано чување података применом блокчејн технологије, односно развојем апликације која врши безбедно складиштење докумената. Анализом традиционалних централизованих решења за складиштење података примећено је да имају доста проблема са безбедношћу, скалабилношћу и доступношћу када се чува већа количина података. Задатак овог рада јесте да представи модерне технологије које помажу у превазилажењу наведених недостатака. Поред тога, описује имплементацију једног од више могућих решења.

Кључне речи: блокчејн, Етеријум, паметни уговори, ИПФС

Abstract – This paper describes the development of a decentralized application for secure distributed data storing using the concepts of blockchain technology, or to be more specific, an application that performs secure document storing. By analyzing the traditional centralized data storing solutions, many problems concerning security, scalability and availability have been detected when storing large data. The purpose of this paper is to present modern technologies that can be used to overcome the mentioned shortcomings. Additionally, it describes the implementation of one of several possible solutions.

Keywords: blockchain, Ethereum, smart contracts, IPFS

1. УВОД

Блокчејн (енгл. *Blockchain*) технологија у потпуности мења начин на који веб програмирање функционише и довела је до увођења нове парадигме под називом Веб 3.0 (енгл. *Web 3.0*).

Ова технологија стекла је велику популарност након увођења Биткоина (енгл. *Bitcoin*) 2009. године. Биткоин користи блокчејн искључиво као део система за плаћање, иако постоје многе друге области примена блокчејн технологије, као што су финансије, пољопривреда, здравство, логистика, и тако даље.

У ери коју карактерише експоненцијални раст дигиталних података и све већа зависност од услуга у

облаку, сигурно и ефикасно чување докумената постало је све важнија брига. Доба дигитализација радикално је изменило начин складиштења и приступања информацијама. Традиционални локални системи складиштења докумената све више нису довољни за управљање обимом и разноликошћу података које генерише савремени свет. Проблеми као што су губљење података, кварови хардвера, сајбер безбедносне претње подстакли су развој иновативних софтверских решења заснованих на блокчејну. Ова решења обећавају отпорност података, доступност и сигурност, често користећи дистрибуиране архитектуре складиштења као кључни елемент.

Циљ овог рада је да покаже како Етеријум (енгл. *Ethereum*) блокчејн платформа може бити искоришћена за развој решења у области децентрализованог и дистрибуираног складиштења података.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Како би објаснило на који начин Етеријум платформа која је коришћена за имплементацију решења и како је дошло до њеног развоја, потребно је кренути од основних концепата на којима се она заснива.

2.1. Блокчејн

Блокчејн је вид имплементације дистрибуиране главне књиге која складишти трансакције и која не може бити измењена након што се трансакција верификује и дода у књигу. Свака трансакција је обезбеђена криптографским методама и валидирана од стране свако овлашћеног члана мреже коришћењем консензус алгорита. Трансакција која није потврђена од стране свих чланова мреже се не додаје у базу података. Свака трансакција је део блока и сваки блок је везан за претходни у секвенцијалном редоследу стварајући ланац блокова. Трансакција се не може избрисати нити изменити, једини начин за измену је додавање нова трансакције у ланац блокова – блокчејн [1].

Постоји неколико типова блокчејна који се међусобно разликују по моделу пермисија у систему, који дефинише ко може да управља мрежом и да додаје нове блокове. Постоје јавни, приватни и хибридни блокчејн. У хибридни блокчејн спада конзорцијум [2].

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Душан Гајић, ванредни професор.

2.2. Паметни уговори

Паметни уговор је програм који се аутоматски извршава на блокчејну, када се испуне услови дефинисани уговором. Паметни уговори омогућавају да се трансакције и споразуми спорводе између различитих, анонимних страна, без потребе за централним органом, правним системом или неком трећом посредничком страном. Управо паметни уговори проширују функционалности блокчејна тако што пружа механизам којим је могуће дефинисати услове који, уколико су испуњени, резултују извршавањем трансакције. Паметне уговоре је 1994. године први предложио Ник Сабо [3].

Паметни уговор садржи тренутно стање, приватно складиште и извршни код. Стање уговора је складиштено на блокчејну и ажурира се сваки пут кад се активира и изврши паметни уговор. Једном кад се паметни уговор постави на мрежу, није га могуће накнадно изменити [3].

2.3. Етеријум

Етеријум је децентрализована блокчејн платформа заснована на П2П (енгл. *P2P* – *peer-to-peer*) мрежи, која омогућава безбедно извршавање и верификацију паметних уговора. Увођењем паметних уговора, Етеријум платформа је омогућила корисницима да врше трансакције, тргују крипто валутама, користе и чувају незамењиве токене, играју игре, користе друштвене медије и још много тога [4].

Виталик Бутерин је креирао Етеријум пројекат као реакцију на недостатке Биткоина. Бутерин је 2013. објавио „Бели папир“ (енгл. *White paper*) Етеријума, са детаљима о паметним уговорима, непромењивим „ако-онда“ (енгл. „*if-then*“) исказима, који омогућавају развој децентрализованих апликација [5].

Етеријум је јавни блокчејн, представља ланац блокова са уграђеним рачунаром. У Етеријуму постоји један, канонски рачунар (познат као Етеријум Виртуелна Машина или ЕВМ) чије стање сви на Етеријум мрежи прихватају као глобално главно стање. Сви учесници мреже (сваки Етеријум чвор) чувају копију стања овог рачунара. Поред тога, сваки учесник може послати захтев овом рачунару да изврши произвољно рачунање – трансакцију. Када се такав захтев пошаље, други учесници на мрежи проверавају, потврђују и извршавају трансакцију. Криптографски механизми обезбеђују да када трансакције буду верификоване као валидне и додате у ланац блокова, оне се не могу мењати касније [6].

Етер (енгл. *ether*) је домаћа крипто валута Етеријума, чија је сврха да пружи економски подстицај учесницима да верификују и изврше трансакције и обезбеде рачунарске ресурсе мрежи. Сваки учесник који емитује захтев за трансакцију мора понудити и одређену количину етера мрежи као накнаду и награду ономе ко на крају обави посао верификације трансакције, извршавања и чувања у ланцу блокова. Такође, накнаде спречавају злонамерне кориснике да намерно загушују мрежу захтевима за извршење бесконачних петљи. Деноминације етера су веи (енгл. *wei*) и гвеи (енгл. *gwei*) [7].

Етеријум налог је ентитет са етер балансом (стањем налога, „стањем рачуна“) који може да шаље трансакције на Етеријуму. Постоје два типа налога: налози у екстерном власништву и уговорни налози. Налози у екстерном власништву су они који могу бити контролисани од стране корисника. Уговорни налози су испоручени на мрежу као паметни уговори и контролисани су кодом тог уговора [8].

2.4. Децентрализоване апликације и Веб 3.0

Децентрализована апликације је апликације изграђена на децентрализованој мрежи која комбинује паметни уговор и кориснички интерфејс. Децентрализована апликација има позадински код смештен на П2П мрежи, за разлику од централизованих апликација чији се код извршава на централизованим серверима. Називају се децентрализованим јер се извршавају на јавној децентрализованој Етеријум платформи, на којој ниједан појединац, нити група нема контролу. Неке од предности развоја децентрализованих апликација су да нема застоја, да је приватна јер корисници из реалног света не морају да открију свој идентитет како би интераговали са апликацијом, чува интегритет података јер су подаци који се складиште на блокчејну непромењиви и неоспорни [9].

Децентрализоване апликације су увеле децентрализацију са П2П протоколима у све аспекте веб апликација, као што су складиштење, размена порука, и тако даље. Тиме су преусмериле развој веб програмирања. Термин који се користи да опише нови правац у еволуцији веба јесте Веб 3, означавајући трећу верзију веба. Гевин Вуд је први предложио термин Веб 3, репрезентујући нову визију и фокус веб апликација: од централно поседованих и управљаних апликација до апликација изграђених на децентрализованим протоколима [9].

2.4. ИПФС

ИПФС (енгл. *IPFS* – *Inter Planetary File System*) је П2П дистрибуирани систем за складиштење, приступ и дељење датотека, веб сајтова, апликација и података. Стекао је популарност због револуционарног приступа складиштења података који представља алтернативу традиционалној клијент-сервер архитектури [10].

У ИПФС-у сваки део садржаја је идентификован јединственим хешом који се зове ЦИД (енгл. *CID* – *Content Identifier*). Садржај се чува и преузима на основу његовог хеша, а не његове локације (што је случај код традиционалних система), и то га чини тежим за цензурисање или манипулацију [10].

ИПФС има потенцијал да побољша скалабилност децентрализованих апликација на платформама као што је Етеријум. Интеграцијом са Етеријум паметним уговорима, ИПФС може да обезбеди сигурно и исплативо складиштење унутар крипто екосистема, побољшавајући перформансе Етеријума [10].

3. АРХИТЕКТУРА И НАМЕНА СИСТЕМА

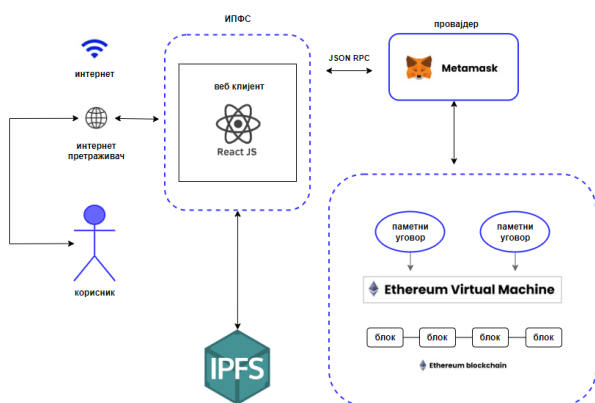
Намена система јесте да омогући корисницима да сачувају свој дигитални садржај на сигуран начин,

тако што корисник путем корисничког интерфејса постави документ који жели да сачува. Тада се креира позив ка ИПФС-у и чува се документ. Корисници такође имају могућност прегледа и брисања сачуваних докумената. Ради се о апликацији која има мали број функционалности и опција на корисничком интерфејсу. Једини вид аутентификације у систему јесте увезивање са крипто новчаником корисника, које је неопходно да би корисник могао да отпреми или обрише сачувана документа јер то у позадини изискује плаћање накнаде како би се трансакција извршила на Етеријуму.

Постоје два приступа приликом чувања фајлова на блокчејну. Документи могу да се чувају директно на ланцу, и могу да се чувају ван ланца. Оба начина имају своје предности и мане. Чување докумената директно на ланцу представља скуп начин чувања јер се подаци чувају унутар сваког блока у ланцу, међутим уколико дође до напада, подаци се могу вратити и искористити. Уколико се документи чувају ван ланца, на ланцу чувамо само мета податке. Сам садржај документа се не налази на ланцу, него на неком дистрибуираном складишту података што представља исплатив метод складиштења података.

Намена апликације јесте да покаже принцип чувања фајлова ван ланца, док се мета подаци чувају директно на блокчејну. Када се документ сачува на ИПФС, добије се ЦИД који представља идентификатор документа који омогућава његово лако добављање. Управо се тај ЦИД прослеђује паметном уговору и чува на ланцу. Уколико имамо сачуван ЦИД, увек можемо да приступимо документу на ИПФС-у.

Систем је развијен као децентрализована Веб 3.0 апликација, са одвојеним клијентским делом који комуницира са паметним уговорима испорученим на блокчејн, што је приказано на слици 1.



Слика 1. Архитектура система

Апликација не поседује серверску страну. Захваљујући томе, представља чист пример Веб 3.0 апликације која укључује клијентску страну која комуницира са паметним уговорима на блокчејну. Тиме што је избегнуто коришћење серверске стране, избегнуто је и ослањање на традиционалне системе по питању централизације. Када би постојао и сервер са којим веб клијент комуницира, постојала би и тачка

која би чинила овај систем делимично централизованим.

4. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА СИСТЕМА

За имплементацију клијентске стране кориштен је Реакт.јс (енгл. *React.js*) радни оквир, заједно са веб3.јс (енгл. *web3.js*) скупом библиотека које омогућавају интеграцију са дигиталним новчаницима. На пример, као што је МетаМаск (енгл. *MetaMask*) новчаник уграђен у веб претраживач, а омогућава да корисници повежу свој Етеријум налог са налогом на систему и на тај омогући да корисници интерагују са паметним уговорима. МетаМаск је Етеријум провајдер (енгл. *provider*).

Поред клијентске апликације постоје и паметни уговори који су написани у програмском језику Солидити (енгл. *Solidity*). То је објектно оријентисан програмски језик, Тјуринг комплетан, специфично намењен за имплементацију паметних уговора. За развој и испоруку паметних уговора кориштен је радни оквир Трафл (енгл. *Truffle*). Приликом развоја апликације паметни уговори су за потребе тестирања испоручивани на тест мрежу Ганаш (енгл. *Ganache*), а касније на Сеполију (енгл. *Sepolia*). Тест мреже се користе јер би се у супротном за свако тестирање паметног уговора трошила права средства.

Како би се ступило у интеракцију са било којом блокчејн мрежом потребно је прикључити јој се. Покретање чвора захтева пристојан ниво техничког знања, стрпљења, процесорске снаге и меморије. То представља једну од најтежих баријера за усвајање блокчејна и коришћењем Инфура та баријера је превазиђена. Инфура (енгл. *Infura*) представља скуп чворова, кластер. Може се посматрати као скуп алата који пружа своје услуге за интеграцију апликација са Етеријум мрежом, али и другим децентрализованим платформама попут ИПФС-а. Да би се користиле услуге Инфура, све што је потребно јесте креирати налог на Инфура веб сајту и након тога верификовати имејл (енгл. *email*) адресу повезану са креираним налогом [11].

Апликација користи паметни уговор који садржи функције за чување, брисање и добављање докумената са ланца. На листингу 1 се може видети једна од претходно поменутих функција, функција за чување ЦИД-а на блокчејн. Функција прима 2 параметра, назив документа чији ЦИД чувамо и сам ЦИД тог документа. Пре него што се ЦИД сачува, прво се проверава да ли он већ постоји. Уколико постоји, неће бити поново додат. Да би клијентска страна могла да позива функције паметног уговора, неопходно је да има његов АБИ (енгл. *ABI – Application Binary Interface*) који је аутоматски генерисан приликом превођења (енгл. *compile*) кода. Паметни уговори писани су језицима високог нивоа. Приликом испоруке паметног уговора на блокчејн испоручује се бајт код који је резултат компајлирања, не изворни код. АБИ омогућава мапирање функција високог нивоа на бајт код и обрнуто, прецизно

описује називе функција, параметре функција, повратне вредности.

```
// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity >=0.4.22 <0.9.0;

contract File{
    mapping(string => string) public files;
    string[] public mapKeys;
    ...

    function saveCID(string memory filename, string memory
cid) external {
        require(bytes(files[cid]).length == 0, "File with
CID already exists");
        files[cid] = filename;
        mapKeys.push(cid);
    }
}
```

Листинг 1. Функција за чување ЦИД-а

АБИ уговора је смештен на клијентској страни и учитава се помоћу функције приказане на листингу 2.

```
import contract from "@truffle/contract";

export const loadContract = async (name, provider) => {
    const res = await fetch(`/contracts/${name}.json`);
    const Artifact = await res.json();

    const _contract = contract(Artifact);
    _contract.setProvider(provider);

    const deployedContract = await _contract.deployed();

    return deployedContract;
};
```

Листинг 2. Учитавање паметног уговора помоћу његовог АБИ-а

Након што је паметни уговор учитан, обезбеђено је једноставно приступање методама уговора, тако да се методе позивају као обична функција објекта паметног уговора као да се ради о било ком објекту неког објектно оријентисаног језика.

5. ЗАКЉУЧАК

Појава Биткоина и блокчејна довела је до многих промена у свету финансија али и пољопривреде, медицине, туризма, логистике, спорта, па чак и уметности. Блокчејн технологија нуди револуционарне могућности за сигурно, непромењиво и трајно чување докумената. Због својих основних карактеристика, идеалан је за решавање проблема фалсификације и губитка података који су широко распрострањени у различитим областима.

Чување докумената на блокчејну има потенцијал да модернизује начин на који се информацију чувају и начин на који се њима управља. Сигурност, непромењивост и транспарентност које блокчејн пружа представљају велики напредак у односу на традиционалне методе чувања. Иако су изазови и даље присутни, у будућности се може очекивати да ће блокчејн технологија наставити да расте и мења начин на који се документи чувају и обрађују.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Nevil, E. Rasure и M. Reeves, „*Distributed Ledger Technology (DLT): Definition and How It Works*,“ урл: <https://www.investopedia.com/terms/d/distributed-ledger-technology-dlt.asp> [Последњи приступ: октобар 2023]
- [2] The Crypto learn, „*Types of Blockchain — Clear classification*,“ урл: <https://medium.com/coinmonks/types-of-blockchain-clear-classification-79c6bce26f00> [Последњи приступ: октобар 2023]
- [3] J. Frankenfield, E. Rasure и S. Kvilhaug, „*What Are Smart Contracts on the Blockchain and How They Work*,“ урл: <https://www.investopedia.com/terms/s/smart-contracts.asp> [Последњи приступ: октобар 2023]
- [4] C. Smith, „*Intro to Ethereum*,“ урл: <https://ethereum.org/en/developers/docs/intro-to-ethereum/> [Последњи приступ октобар 2023]
- [5] T. Copeland, „*A brief history of Ethereum*,“ урл: <https://www.theblock.co/learn/245716/a-brief-history-of-ethereum> [Последњи приступ октобар 2023]
- [6] S. Tikhomirov, „*Ethereum: State of Knowledge and Research Perspectives*,“ у International Symposium on Foundations and Practice of Security, 2018.
- [7] C. Smith, „*Intro to Ether*,“ урл: <https://ethereum.org/en/developers/docs/intro-to-ether/> [Последњи приступ: октобар 2023]
- [8] J. Cook, „*Ethereum Accounts*,“ урл: <https://ethereum.org/en/developers/docs/accounts/> [Последњи приступ: октобар 2023]
- [9] J. F. Vañó Francés, „*Blockchain DApps*,“ LAB University of Applied Sciences, 2022.
- [10] Consensus, „*An Introduction to IPFS*,“ урл: <https://medium.com/@Consensus/an-introduction-to-ipfs-9bba4860abd0> [Последњи приступ: октобар 2023]
- [11] Medium, „*What is Infura*,“ урл: <https://medium.com/what-is-infura/what-is-infura-59dbdd778455> [Последњи приступ октобар 2023]

Кратка биографија:



Николина Павковић рођена је у Сомбору 15. фебруара 2000. године. Факултет техничких наука у Новом Саду, студијски програм Рачунарство и аутоматика уписала је 2018. године. Након завршених основних студија, 2022. године, уписала је мастер академске студије из исте области.

контакт: pavkovicn@hotmail.com

СИСТЕМИ ЗА ПРЕПОРУКУ У E-COMMERCE ПЛАТФОРМАМА ЗАСНОВАНИ НА ГРАФ НЕУРОНСКИМ МРЕЖАМА**RECOMMENDATION SYSTEMS IN E-COMMERCE PLATFORMS BASED ON GRAPH NEURAL NETWORKS**Матија Матовић, Јелена Сливка, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – РАЧУНАРСТВО И АУТОМАТИКА**

Кратак садржај – У области е-трговине, велика количина новца се годишње улаже у интернет маркетинг. Циљ ових улагања је да се производи представе што ширем обиму корисника, како би они могли бити приказани што већем броју људи који би за те производе били заинтересовани. Употребом система за препоруку, ови трошкови би се могли смањити, а профит повећати, тако што би се сваком кориснику приказивале персонализоване препоруке, детаљно прилагођене његовом укусу. Са тим у вези овај рад истражује неколико различитих приступа имплементацији система за препоруку: традиционални приступ и приступи засновани на модерној архитектури граф неуронских мрежа. За учење су прикупљени подаци о интеракцијама корисника са ставкама, као и подаци о самим корисницима и ставкама. Коначан циљ овог рада је испитати квалитет модерних метода заснованих на граф неуронским мрежама, упоредити га са традиционалним методама и истражити њихове досад недовољно испитане предности.

Кључне речи: граф неуронске мреже, системи за препоруку, е-трговина, факторизација матрица.

Abstract – In e-commerce, a large amount of money is invested annually in internet marketing. These investments aim to present products to a broader range of users so that they can be shown to more people interested in those products. A recommendation system could reduce these costs and increase profit by displaying personalized recommendations tailored to each user's taste. In this regard, this paper explores several approaches to implementing a recommendation system: a traditional approach and approaches based on the modern architecture of graph neural networks. Data on user interactions with items and data on users and items themselves were collected for learning. This paper aims to examine the quality of modern methods based on graph neural networks, compare them with traditional methods, and explore their underexplored advantages.

Keywords: graph neural networks, recommendation systems, e-commerce, matrix factorization

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је била др Јелена Сливка, ванр. проф.

1. УВОД

У непрестано растућем пољу е-трговине, системи за препоруку су постали незаменљиви алати за унапређење корисничког искуства и оптимизацију пословних перформанси. Ови систем заузимају кључну улогу у вођењу корисника кроз обимну понуду производа и услуга, нудећи персонализоване препоруке које се уклапају са индивидуалним укусима и понашањем. Економски значај ефикасних система за препоруку се не сме занемарити, јер не само што доприносе ангажовању (*engagement*) и задовољству корисника, већ и значајно утичу на приходе пословања промовишући релевантне ставке и подстицајући понављање трансакција и куповина корисника на датој платформи [1]. Са технолошким напретком и порастом доступности података, потенцијал за коришћење софистицираних алгоритама и иновативних архитектура, као што су граф неуронске мреже (GNN, *Graph neural networks*) [2] представља одличну прилику за значајно побољшавање тачности и корисности система за препоруку.

Мотивисан дубоким утицајем који системи за препоруку имају у пољу е-трговине, овај рад истражује и имплементира најновије приступе препоручивању, са посебним нагласком на GNN. GNN су добиле на значају због своје неупоредиве способности да науче сложене односе и зависности присутне у комплексним структурама података, нарочито у случајевима где се подаци и њихове интеракције могу ефикасно моделовати као графови. Искоришћавањем предности GNN-ова, циљ је унапредити тачност и ефикасност препорука инкорпорирањем нијансираног разумевања интеракција корисник-садржај у виду мреже (графа) интеракција. Овај рад истражује област система за препоруку, оцењује ефикасност GNN као префериране архитектуре и истражује њихов потенцијал да преобликује област препорука у савременој е-трговини. Кроз компаративну анализу са традиционалним методама, овај рад настоји да отвори пут за унапређење стратегије препорука које одговарају динамичним потребама савремених потрошача.

У раду се врши прикупљање података о трансакцијама и оценама ставки од стране корисника на неком од доступних скупова података и потом додатно обогаћивање података релевантим својствима. Потом се над тим подацима тренирају модели засновани на традиционалним методама, као и модели засновани на савременој GNN архитектури, како би се њихови резултати поредили, и анализирали предности и мане.

У наредном поглављу дат је преглед претходних решења која су се бавила системима за препоруку. У поглављу 3 су дати детаљи решења и имплементације система, а њихови резултати су евалуирани и поређени у поглављу 4. Коначно, 5. поглавље представља закључак рада.

2. ПРЕТХОДНА РЕШЕЊА

У контексту машинског учења, први приступ изради система за препоруку се може пронаћи у системима заснованим на садржају (*content-based filtering*) [3]. Њиховом појавом се десила велика промена у дотадашњем начину израде ових система, јер се први пут показало да рачунар може сам да научи или искористи корисничке укусе, без потребе за системима базираним на правилима која су писали експерти. Ови системи функционисали су тако што су анализирали својства и атрибуте ставки са којима је корисник интераговао у прошлости, и на основу њих налази сличне и препоручује их кориснику. Њихов главни проблем је био што нису могли да кориснику препоручују нешто изван онога на шта је он досад навикао, као и проблем издвајања оних својстава која би била најрелевантнија за предикцију. Такође, нису могле ни да искористе ставке које су се свиђале сличним корисницима.

Након њих се појављују системи засновани на колаборативном филтрирању и факторизацији матрица [4]. Ови системи анализирају матрицу интеракција корисник-ставка, и потом, наставши по интеракцијама најсличније кориснике, текућем кориснику препоручују ставке које су слични корисници најбоље оценили.

У скорије време, до појаве система заснованих на дубоком учењу, најчешће су се користили хибридни модели, који су своје предикције износили комбинујући гласове више модела заснованих на претходне две методе, тиме надокнађујући недостатке система заснованих на садржају у виду неискоришћавања интеракција сличних корисника, као и недостатке система заснованих на колаборативном филтрирању у виду проблема са ново-додатим ставкама [5].

Појавом граф неуронских мрежа [2], брзо се увиђа корисност ове архитектуре у системима за препоруку, с обзиром на то да се интеракције корисника и ставки могу представити у виду бипартитног хетерогеног графа, где су корисници и ставке чворови са својим својствима, а интеракције између њих гране графа. Једна од ранијих и најуспешнијих примена је GraphSAGE модел [6], који се показао као јако ефикасно решење, и који користи *Pinterest*. NGCN (*Neural Graph Collaborative Filtering*) [7] је нешто сложенији модел који показује још боље резултате на свим релевантним скуповима података, али уз цену веће рачунарске сложености. Такође, значајан је и HGAT (*Heterogenous Graph Attention Network*) [8], који користи и мета-путање (два корисника су повезана уколико су интераговала са истом ставком нпр.), како би извукао додатне зависности и шаблоне понашања вишег нивоа, и који је резултате боље од NGCN на релевантним скуповима података.

Овај рад ће представити решење засновано на GraphSAGE због његове мале рачунарске сложености,

као и решење засновано на HGAT због побољшања које мета-путање пружају.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

У наредном поглављу је описан скуп података коришћен у овом раду, начин на који је извршена експлоративна анализа података и архитектура испробаних модела за предикцију.

3.1. Скуп података

За евалуацију решења је коришћен *OList Brazilian E-commerce* [9] скуп података. Садржи информације о преко 110.000 трансакција, 32.000 производа и 99.000 корисника. Информације које садржи о производима су бразилска савезна држава и град у којој је корисник регистрован. Информације које садржи о производима укључују њихове димензије (дужина, ширина и висина), тежина, цена, категорија (којих има 71), као и дужина наслова и описа. Због анонимизације података, текст наслова и описа производа су замењени њиховом дужином. Такође, скуп података садржи и податке о свакој трансакцији: датум и време трансакције, количина сваког од производа, као и оцена коју је корисник дао својој наруџбини након њеног извршавања.

3.2. Експлоративна анализа података

Анализом података је утврђено да већина поруџбина садржи само једну ставку, односно, да је просечан број ставки по поруџбини 1,2. Такође, утврђено је да су оцене 4 и 5 несразмерно распрострањене у скупу података, односно, убедљиво највећи број поруџбина има додељене оцене 5 и 4.

Ове две ставке представљају отежавајућу околност за моделе који само користе интеракције корисник-ставка, као што су то управо модели засновани на факторизацији матрица. Разлог за ово је тај што нема довољно интеракција по особи како би се могло квалитетно закључивати, као и то што је већина оцена 5, па је скуп небалансиран. Модели засновани на факторизацији матрица искључиво користе матрицу интеракција (тј. оцене корисника), а како је квалитет ових података у скупу лош због поменутих разлога, ови модели ће имати лошије перформансе.

3.3. Претпроцесирање података

Подаци о корисницима су због анонимизације прилично шкрти. Због тога су додатно обогаћени метрикама које могу дати наговештај о имовинском стању и куповним навикама корисника. С обзиром да су били доступни подаци о географској локацији сваког корисника, подаци су обогаћени вредностима као што су: индекс људске развијености (HDI - *Human Development Index*), бруто домаћи производ по глави становника сваке државе у којој се корисник налази и густина насељености сваког од градова у коме се корисник налази.

Ови бројеви су добар показатељ куповне моћи и навика становника, јер указују на куповну моћ, развијеност инфраструктуре и доступност интернету и другим добрима [10]. Нумеричке вредности о БДП, HDI, цени производа и густини насељености су потом

нормализовани. Категорије производа су из текста категоризовани у бројеве.

Подаци о интеракцијама корисник-ставка су након иницијалне обраде претворени у формате које користе модели разматрани у овом раду. За модел заснован на факторизацији матрица подаци су претворени у матрицу интеракција корисник-ставка; редови су корисници, а колоне ставке, у пољима се налазе оцене које је корисник дао ставки.

За моделе засноване на GNN, подаци су претворени у бипартитни хетерогени граф; корисници и ставке су два типа чворова који садрже својства и информације, док су гране између њих оцена коју је корисник дао тој ставци.

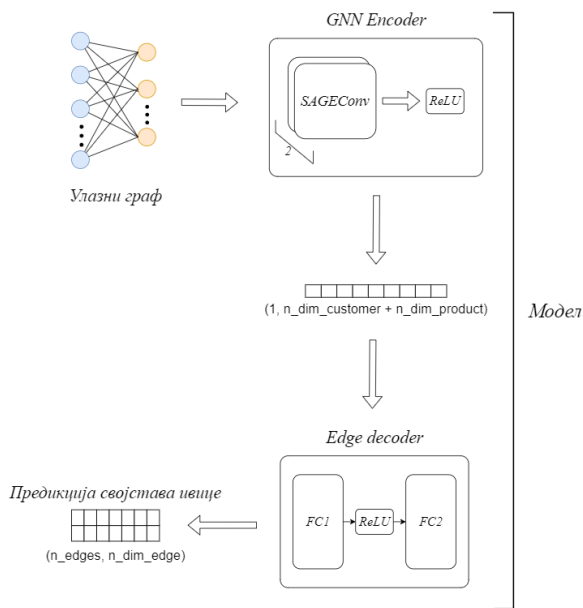
3.4. Архитектура модела

Модел заснован на факторизацији матрица се састоји од два дела: први део предвиђа основицу оцене на основу одступања просечне оцене корисника (b_x) и просечне оцене ставке (b_i) од глобалног просека (μ). Други део тражи по оценама најсличније ставке текућој, и рачуна отежињени просек тих ставки да би додатно поправио предикцију основице.

Отежињавање при израчунавању оцене се врши помоћу сличности две ставке (s_{ij}), које се добија израчунавањем Жакаровог индекса, као што је описано у [11]. Коначна предикција се добија комбиновањем ових елемената као што је приказано у формули (1).

$$r_{xi} = \mu + b_x + b_i + \frac{\sum_{j \in N(x,i)} s_{ij} \cdot (r_{xj} - b_{xj})}{\sum_{j \in N(x,i)} s_{ij}} \quad \#(1)$$

У склопу овог рада имплементирана су два модела заснована на граф неуронским мрежама. Први модел се састоји од једног енкодера који прима текући чвор и матрицу суседства како би направило стабло израчунавања и на основу њега конструисало латентну репрезентацију чвора (Слика 1).

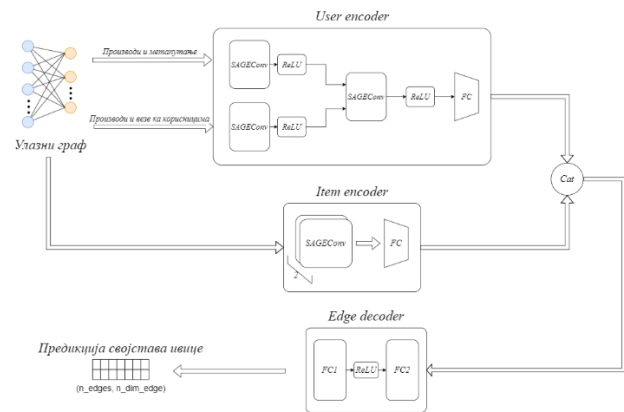


Слика 1. Дијаграм архитектуре модела са једним енкодером за обе врсте чворова

С обзиром на то да се састоји од два SAGEConv [12] слоја, стабло израчунавања је дубине два. Овај модел

има и декодер ивица. То је двослојни перцептрон који прима конкатениране латентне репрезентације производа и корисника и на основу њих даје предикцију оцене.

Други модел се састоји од два енкодера (Слика 2). С обзиром на то да у графу постоје мета-путање [8] између сродних производа, латентне репрезентације ова два типа чворова се морају другачије израчунати. Оба енкодера примају чвор и матрицу суседства, с тим што енкодер корисника додатно обрађује репрезентацију производа пропуштајући је кроз додатни граф-конволуциони слој са само подацима о мета-повезаности. Добијене латентне репрезентације користе на исти начин као и једно-енкодерски модел.



Слика 2. Дијаграм архитектуре модела са два енкодера и мета-путањама

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Скуп података је подељен на тренинг и тест скуп у размери 80:20. Међутим, код система за препоруку, тренирање је најчешће трансдуктивно. То значи да је скуп чворова и у тренинг и у тест скупу исти, док се само интеракције деле у размери 80:20. Ово је реалнији пример примене, јер се системи за препоруку обично тренирају специфично за одређену платформу, на подацима који у њој већ постоје. Међутим, док модел заснован на факторизацији матрица пати од проблема увођења нових чворова, јер за њих нема довољно интеракција да би предвиђао оцене, модели засновани на граф неуронским мрежама немају већих проблема да нове податке пропусти кроз истрениране енкодере и добију латентне репрезентације.

Евалуација се вршила помоћу отежињене средње грешке квадрата (WMSE – *Weighted Mean Squared Error*) због чињенице да је скуп података изузетно небалансиран, те је потребно више кажњавати грешке на мање заступљеним оценама. Најбоље резултате су показали модели засновани на граф неуронским мрежама, што је и очекивано с обзиром на то да су посебно намењени да што боље уче над подацима структурираним у виду графа (Табела 1). Такође, за разлику од традиционалних модела способни су да користе и податке о тополошкој структури графа, као и податке које садрже сами чворови. Још једна предност коју ови модели имају над факторизацијом матрица је то, што је предикција много бржа. Док је

код факторизације матрица за сваку предикцију сваки пут потребно проћи кроз матрицу и наћи најсличније ставке, код GNN модела потребно је само корисника и ставку пропустити кроз већ истрениране енкодере како би се добила предикција.

Модел који користи мета-путање даје нешто боље резултате од обичног ГНН модела, с обзиром на то да може да искористи зависности вишег нивоа које се могу налазити у овим метапутањима.

Табела 1. Постигнути резултати са сваким од модела. Mat-Fac је модел са факторизацијом матрица, а 1-enc и 2-enc meta-path су модели са 1 и 2 енкодера

Модел	Test WMSE
Mat-Fac	1.97
1-enc	1.21
2-enc metapath	0.98

5. ЗАКЉУЧАК

Овај рад се бави анализом употребљивости нове архитектуре граф неуронских мрежа у проблемима са великом могућношћу примене као што су системи за препоруку, и пореди их са до сада често коришћеним, традиционалним приступима решавања ових проблема.

Мотивацију за овај рад је представљала чињеница да су системи за препоруку од великог значаја за било коју платформу засновану на садржају, поготово у области е-трговине, и да у великој мери доприносе њиховом профиту. Истраживање како нови приступи могу додатно побољшати препоруке се стога може сматрати посебно значајним.

У циљу тога, имплементирана су два модела различите сложености, заснована на граф неуронским мрежама, као и модел заснован на факторизацији матрица. Након тога, они су истренирани и њихови резултати поређени на истом скупу података. Скуп података чини податке о обављеним трансакцијама на бразилској OList веб продавници, обogaћен додатним подацима на основу географских локација корисника. Над овим подацима GNN модели су показали значајно боље резултате, као и дугорочну употребљивост у односу на факторизацију матрица.

Предмет даљег истраживања могли би бити сложенији модели, засновани на неким другим, рачунарски сложенијим варијацијама GNN архитектура (GAT [13], NGCN [7]). Осим тога, корисно би било испитати како би се ови модели понашали на бољим скуповима података, који садрже више информација о корисницима и производима.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Miquido, „We know what you like! Recommendation Systems in business,” 24 June 2020. [На мрежи]. Available: <https://medium.com/swlh/we-know-what-you-like-perks-of-recommendation-systems-in-business-5f227bb6d09>. [Последњи приступ 27 September 2023].

[2] F. Scarselli, M. Gori, A. C. Tsoi, M. Hagenbuchner и G. Monfardini, „The Graph Neural Network Model,” *IEEE Transactions on Neural Networks*, т. I, бр. 20, pp. 61-80, 2008.

[3] M. Balabanovic и Y. Shoham, „Fab: content-based, collaborative recommendation,” *Communications of the ACM*, т. III, бр. 40, pp. 66-72, 1997.

[4] Y. Koren, R. Bell и C. Voinsky, „Matrix factorization techniques for recommender systems,” *Computer*, т. 42, бр. 8, pp. 30-37, 2009.

[5] Y. Koren, „The Bellkor Solution to the Netflix Grand Prize,” у *Netlix Prize Documentation*, т. 81, 2009, pp. 1-10.

[6] W. Hamilton, Z. Ying и J. Leskovec, „Inductive Representation Learning on Large Graphs,” у *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2017.

[7] X. Wang, X. He, M. Wang и F. Feng, „Neural Graph Collaborative Filtering,” у *42nd international ACM SIGIR conference on Research and development in Information Retrieval*, 2019.

[8] W. Xiao, H. Ji, C. Shi, B. Wang, Y. Ye и C. Peng, „Heterogeneous Graph Attention Network,” у *The world wide web conference*, 2019.

[9] OList и A. Sionek, „OList Brazilian Ecommerce Dataset [Kaggle],“ [На мрежи]. Available: <https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DSV/195341>. [Последњи приступ 12 July 2023].

[10] M. Davis и M. Palumbo, „A primer on the economics and time series econometrics of wealth effects,” 2001.

[11] J. Leskovec, A. Rajaraman и J. Ullman D, *Mining of Massive Datasets*, Cambridge University Press, 2010.

[12] T. Kipf и M. Welling, „Semi-supervised Classification with Graph Convolutional Networks,” arXiv, 2016.

[13] P. Velickovic, C. Guillem, A. Casanova и A. Romero, „Graph Attention Networks,” arXiv, 2017.

Кратка биографија:



Матија Матовић рођен је 1. јула 1999. године у Ужицу. Основне академске студије завршио је 2022. године на Факултету техничких наука, на ком брани и мастер рад 2023. године из области Електротехнике и рачунарства.

контакт: matija.matovic@uns.ac.rs

ПРИМЕР КОМПЛЕТНЕ ВЕБ АПЛИКАЦИЈЕ У ПРОГРАМСКОМ ЈЕЗИКУ РАСТ EXAMPLE OF A FULLSTACK WEB APPLICATION IN THE RUST PROGRAMMING LANGUAGE

Огњен Богдановић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – Овај рад се бави развојем комплетне веб апликације помоћу програмског језика Раст, где је и серверски и клијентски део апликације имплементиран у одговарајућим радним оквирима овог језика. Анализом тренутне слике развоја веб апликација, примећено је да решења, иако махом прате савремене технологије, не придају превише значаја безбедности меморије и самим перформансама. Са друге стране, Раст поседује потенцијал да направи искорак у веб развоју пружањем сигурније алтернативе постојећим технологијама. Због тога, решење имплементирано у овом раду представља апликацију управо користи предности овог језика, и обезбеђује сигурнију, ефикаснију и одрживи развој веб-а.

Кључне речи: веб апликација, Раст, Веб Асембли

Abstract – This paper deals with the development of a fullstack web application using the Rust programming language, where both the server and client part of the application are implemented in the appropriate frameworks of this language. Analyzing the current state of web application development, it has been noticed that the solutions, although they mostly follow modern technologies, do not give too much attention to memory security and performance. On the other hand, Rust has the potential to make a breakthrough in web development by providing a safer alternative to existing technologies. Therefore, the solution implemented in this work is an application that uses the advantages of this language, and ensures safer, more efficient and sustainable web development.

Keywords: web application, Rust, Web Assembly

1. УВОД

Мотивација иза овог истраживања лежи у потрази за ефикаснијим, сигурнијим и свестранијим развојем веб апликација. Како потражња за веб апликацијама наставља да расте, расту и изазови повезани са стварањем робусног, скалабилног и поузданог софтвера.

На мапи развоја веб апликација традиционално су доминирали језици као што су Јава, Јаваскрипт (енгл.

Javascript) и Пајтон (енгл. Python). Иако су се ови језици показали ефикасним, они такође уводе забринутост за безбедност и перформансе због свог динамичког куцања и управљања меморијом. Програмски језик Раст, познат по својим гаранцијама за безбедност меморије и оптимизацији перформанси, нуди обећавајући пут за решавање ових изазова [1].

Овај рад настоји да дефинише тренутно стање веб развоја у Расту, идентификује недостатке и изазове и пружи радни пример апликације у потпуности изграђене у Расту, наглашавајући њен потенцијал за побољшану безбедност, перформансе и могућност одржавања [1].

2. ОСНОВНИ ТЕОРИЈСКИ КОНЦЕПТИ ПРОГРАМСКОГ ЈЕЗИКА РАСТ

Раст представља један од ретких новијих језика који је доживео оволику експанзију. Он сигурно испуњава тржишну нишу - има за циљ да помогне системским програмерима и другима који желе да креирају код који истовремено барата са десетинама, хиљадама или чак милионима догађаја [2].

2.1 Основе програмског језика Раст

Раст је програмски језик опште намене, првенствено креиран да обезбеди високе перформансе сличне онима који нуде језици Це (енгл. C) и Це++ (енгл. C++), као и са посебним нагласком на безбедност кода, где референце у коду увек упућују на исправну меморију. Такође, подршка за конкурентно програмирање, као и ефективни компајлер су још неки од разлога зашто су се познате софтверске компаније, као и многе компаније у развоју одлучиле за овај језик [1].

2.2 Специфичности и главне предности

Синтакса језика Раст је слична оној у језику Це++, с тим да решава и његове главне проблеме: грешке у меморији и конкурентно програмирање, и управо ово се сматра једном од његових главних предности [1].

Један од начина како Раст ово превазилази јесте концепт позајмљивања (енгл. *borrowing*) - део компајлера који обезбеђује да референце не надживе податке на које се односе.

Ова функционалност помаже у управљању меморијом, и они се откривају у време компајлирања те је прикупљање смећа самим тим непотребно [1].

НАПОМЕНА:

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

2.3 Примена

Раст представља већ зрелу технологију која се користи у индустрији. Као системски програмски језик, омогућава потпуну контролу над детаљима ниског нивоа, где постоји могућност бирања да ли ће се подаци чувати на стеку (енгл. *stack*) или на хипу (енгл. *heap*) [1].

С обзиром да Раст нема „сакупљач смећа“ који непрекидно ради, његови пројекти могу да се користе као библиотеке од стране других програмских језика [1].

3. РАЗВОЈ КОМПЛЕТНЕ ВЕБ АПЛИКАЦИЈЕ У ОКВИРУ ПРОГРАМСКОГ ЈЕЗИКА РАСТ

Раст већ сада представља поуздани програмски језик; веб оквири као што су Рокет (енгл. *Rocket*), Актикс (енгл. *Actix*) и други омогућавају програмерима да креирају веб апликације са Растом, уз Дизел (енгл. *Diesel*) који представља најпродуктивнији начин интеракције са базама података у Расту [2].

Поред тога, постоје и бројни веб оквири у Расту који се могу користити за фронтенд (енгл. *frontend*) део веб апликације, које се користе у комбинацији са новим алатом: веб асембли (енгл. *webAssembly*) који представља мали, брзи бинарни формат који обећава приближне перформансе сходне веб апликацији [2].

3.1 Радни оквир Рокет

Рокет представља радни оквир за Раст, који има за циљ да буде брз, лак и флексибилан док нуди загарантовану сигурност и што је могуће већу безбедност. Обезбеђује примитиве за прављење веб сервера и апликација са Растом, као што су: рутирање, претходну обраду захтева и накнадну обраду одговора [3].

Дизајн овог радног оквира је усредсређен на три основна концепта које диктирају сам Рокетов интерфејс:

- Сигурност, исправност и искуство програмера су најважнији.
- Све информације о руковању захтевима треба да буду откуцане и самосталне.
- Одлуке не треба форсирати.

Главни задатак Рокета је да „ослушкује“ долазне веб захтеве, пошаље захтев апликацији и врати одговор клијенту. Процес који иде од захтева до одговора може да се представи као „животни циклус“ који се састоји из рутирања, валидације, обраде и одговора [3].

Апликације у овом радном оквиру су фокусиране на руте и хендлере. *Рута* представља комбинацију параметара који се поклапају са долазећим захтевом и хендлером, једноставном функцијом која прима произвољан број аргумената и враћа било који тип података, који служи за обраду захтева и враћање одговора (слика 1) [3].

```
1  #[get("/world")]           // <- route attribute
2  fn world() -> &'static str { // <- request handler
3      "hello, world!"
4  }
```

Слика 1. Пример дефинисања једне руте.

Пре него што Рокет може да пошаље захтеве на руту, рута треба да буде увезана (енгл. *mounted*) на сервер, и након тога, Рокет почиње да сервира захтеве након покретања (слика 2) [3].

```
#[launch]
fn rocket() -> _ {
    rocket::build().mount("/hello", routes![world])
}
```

Слика 2. Покретање серверске апликације

Обрада података тела захтева, као и већи део Рокета је навођена на основу типа. Да би хендлер знао да очекује податке из тела захтева, неопходна је анотација типа *data* = „параметар“, где је параметар аргумент који мора да имплементира особину *FromData* (слика 3) [3].

```
1  #[post("/", data = "<input>")]
2  fn new(input: T) { /* .. */ }
```

Слика 3. Захтев са параметром *data*

Свака обрада апликације може довести до одређених грешака. У оквиру Рокет радног оквира, грешке могу да настану са више различитих места (неуспешан одговор, грешка при рутирању) [3].

Рокет у себи садржи концепт који дозвољава програмерима да ручно обрађују грешке – хватачи грешака (енгл. *error catchers*). Ако се било која од ових наведених грешака догоди, Рокет враћа грешку клијенту. Да генерише грешку, Рокет позива хватач који одговара статусном коду грешке и опсегу (слика 4). [3]

```
#[catch(404)]
fn not_found(req: &Request) { /* .. */ }
```

Слика 4. Хватач грешке статусног кода 404

3.2 Веб Асембли

Веб Асембли представља мали, брзи бинарни формат који обећава скоро изворне перформансе за веб апликације. Осим тога, дизајниран је да буде компајлиран за било који језик, где јаваскрипт представља само један од њих [5].

Веб Асембли је дизајниран са великим бројем случајева коришћења заснованих на претраживачу који захтевају велике перформансе: игре, стриминг музике, уређивање видеа, шифровање и препознавање слика. Иако је тек у повоју, овај нови језик има за намеру да буде што кориснији могуће кроз низ иницијатива, као што су: примитиве за сакупљање смећа, рад са нитима и алати за отклањање грешака (дебаговање) [4].

3.3 Радни оквир Ју

Ју се истиче као значајни новитет у домену веб развоја, који не само да се издваја од традиционалних

оквира за веб развој, већ служи и као доказ његовог потенцијала да редефинише начин на који се веб апликације праве [8].

Као можда и најважнија особина Ју радног оквира, могуће је писати изразе који подсећају на основни ХТМЛ користећи `html!` макро. Овај макро претвара код написан у прилагођеној синтакси сличној ХТМЛ-у у Раст код. Постоји само једно главно правило код употребе `html!` макроа – повратна вредност мора бити само један коначно затварајући елемент (слика 5) [6].

```
let header_text = "Hello world".to_string();
let header_html: Html = html! {
  <h1>{header_text}</h1>
};

let count: usize = 5;
let counter_html: Html = html! {
  <p>{"My age is: "}{count}</p>
};

let combined_html: Html = html! {
  <div>{header_html}{counter_html}</div>
};
```

Слика 5. Коришћење макроа `html!`

Елементарну градивну јединицу овог радног оквира шредстављају *компоненте*. Неке од њених главних особина су [6]:

- узимају аргументе у облику *Props*-а,
- могу имати сопствено стање,
- обрађују делове ХТМЛ-а који су видљиви кориснику.

За креирање функције која је компонента, додаје јој се атрибут `#[function_component]` и приликом рендеровања, Ју ће изградити виртуелно стабло ових компоненти. Позваће функцију приказа сваке (функције) компоненте да би израчунала виртуелну верзију ДОМ-а (ВДОМ) коју ће корисник библиотеке видети као ХТМЛ тип (слика 6) [6].

```
use yew::{function_component, html, Html};

#[function_component]
fn HelloWorld() -> Html {
  html! { "Hello world" }
}

// Then somewhere else you can use the component inside "html"
#[function_component]
fn App() -> Html {
  html! { <HelloWorld /> }
}
```

Слика 6. Функција као компонента

Атрибут `#[function_component]` такође дозвољава да функције опционо приме Пропс у аргументима. Да би их обезбедили, они се додељују преко атрибута у `html!` макроу.

Својство које имплементира компонента (енгл. Component) садржи два асоцирана типа: раније поменути Props и Message.

Тип Message се користи за слање порука компоненти након што се десио догађај; на пример, уколико постоји радња која треба да се догоди када корисник кликне на дугме или помери страницу надолу (слика 7) [6].

```
impl Component for MyComponent {
  type Message = Msg;
  type Properties = Props;

  // ...
}

enum Msg {
  Click,
  FormInput(String)
```

Слика 7. Асоцирани тип Message

Поред ових типова, да би се одговорило на захтев, неопходно је користити и „повратне позиве“ (енгл. *callbacks*), који иницијално служе како би се комуницирало са услугама, агентима и надређеним компонентама унутар Јуа (слика 8) [6].

```
fn view(&self, ctx: &Context<Self>) -> Html {
  let onclick = ctx.link().callback(|_| Msg::Clicked);
  html! {
    <button {onclick}>{ "Click" }</button>
  }
}
```

Слика 8. Пример повратног позива

4. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И ДЕТАЉАН ПРИКАЗ КОМПЛЕТНЕ ВЕБ АПЛИКАЦИЈЕ У ПРОГРАМСКОМ ЈЕЗИКУ РАСТ

Имплементација и детаљан приказ комплетне веб апликације у програмском језику Раст представља имплементацију основних функционалности типичне за једну веб страницу (где је као основни ентитет рада струкутра машина) уз додатак који представља учитавање КјуАр (енгл. QR) кода.

4.1 Архитектура система

Имплементирани систем има трослојну архитектуру која се састоји из:

- корисничког интерфејса - који служи за интеракцију са корисницима (радни оквир Ју),
- серверског дела - где је смештена сва логика (радни оквир Рокет),
- базе података - где се чувају подаци.

Улогу корисника у овом систему представљају радници индустријског предузећа, док је намена апликације основно руковање са ентитетом *машина*, како би помогла радницима у лакшем вођењу њихове евиденције, и како би им пружила брзи преглед информација о машинама на мобилном телефону уз помоћ КјуАр кода.

4.2 Пример описа случаја коришћења

У наставку ће детаљније бити приказана функционалност преглед машина, где ће бити описана њена имплементација, како серверска страна, тако и кориснички интерфејс, како би се представио рад саме веб апликације.

Почетна страница рендерује компоненту *List* која у себи садржи пропс поље: *машине*. Машине се у оквиру иницијалне компоненте *MachineApp* добављају на свако ново учитавање странице, како би корисник у сваком тренутку имао ажурни приказ свих машина (слика 9).


```
fn update(&mut self, msg: Self::Message) -> ShouldRender {
    match msg {
        Msg::MakeReq => {
            self.machines = None;
            let req = request::get("http://localhost:8000/machines")
                .body(Nothing)
                .expect("can not make req to backend");

            let cb = self.link.callback(
                |response: JsonResult<Vec<Machine>>, anyhow::Error>>| {
                    let json(data) = response.into_body();
                    Msg::Resp(data)
                },
            );

            let task = FetchService::fetch(req, cb).expect("can create task");
            self.fetch_task = Some(task);
            ()
        }
        Msg::Resp(resp) => {
            if let Ok(data) = resp {
                self.machines = Some(data);
            } else {
                consoleService::info(&format!("Error: {:?}", resp));
            }
        }
    }
    true
}
```

Слика 9. Добављање машина

Директно на `List` компоненти, врши се рендеровање података и преко животног циклуса компоненте и функције `view` (која ће у себи позвати функцију `render_list`) приказују се подаци (слика 10).

```
fn render_list(&self, machines: Option<Vec<Machine>>) -> Html {
    if let Some(t) = machines {
        html! {
            <div id="list_container">
                <div id="home_header">
                    ("Machine")
                </div>
                <div class="add_button">
                    <Anchor class="add_button_text" route=AppRoute::NewMachine>
                        ("Nova mašina")
                    </Anchor>
                </div>
                <div class="table_container">
                    <table>
                        <thead>
                            <tr>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                            </tr>
                            <tr>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                            </tr>
                        </thead>
                        <tbody>
                            <tr>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                                <td class="table_button"></td>
                            </tr>
                        </tbody>
                    </table>
                </div>
            </div>
        }
    }
}
```

Слика 10. Приказ машина – клијентски део

Корисницима то изгледа као на слици 11.

ID	SERIJSKI BROJ	PROIZVOĐAČ	GODINA PROIZVOĐENJA	DETAILS
1	Sample Machine	Pioneer	2000	...
27	Bayer	Valeo	2017	...

Слика 11. Приказ машина – претраживач

5. ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада представљена је комплетна веб апликација, везана за основне функционалности у раду са ентитетом машина. Целокупна апликација је реализована у програмском језику Раст, с тим да је за кориснички интерфејс коришћен радни оквир Ју, док је за серверски део коришћен радни оквир Рокет.

Главна мотивација за развијање веб апликације баш у оквиру овог језика јесте изазов - приближити модерни веб развој апликација као нешто што је свакодневница у оквиру програмерског света са традиционалним језиком какав је Раст који води рачуна меморији и о програмима ниског нивоа.

Развој комплетне веб апликације у Расту наглашава његов изузетан потенцијал у развоју модерних веб апликација. Успешно премोшћује јаз између програмирања ниског нивоа и веб развоја на високом нивоу, користећи Растову безбедност меморије, перформансе и архитектуру компоненти Јуа. Иако и даље постоје изазови рада са строгим правилима његовог компајлера и библиотекама које се развијају, овај рад доказује да је Раст моћан и безбедан језика за прављење веб апликација.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Krzysztof Wrobel, „Why is Rust programming language so popular?”, урл: <https://codilime.com/blog/why-is-rust-programming-language-so-popular/> [Последњи приступ: 10.10.2023.]
- [2] Eze Sunday, “How to create a web app in Rust with Rocket and Diesel”, урл: <https://blog.logrocket.com/create-web-app-rust-rocket-diesel/> [Последњи приступ: 7.10.2023.]
- [3] Get Started with Rocket, урл: <https://rocket.rs/> [Последњи приступ: 5.10.2023.]
- [4] Serdar Yegulalp, “What is WebAssembly? The next-generation web platform explained.”, урл: <https://www.infoworld.com/article/3291780/what-is-webassembly-the-next-generation-web-platform-explained.html> [Последњи приступ: 10.10.2023.]
- [5] Eric Elliott, “What is WebAssembly? The Dawn of a New Era.”, урл: <https://medium.com/javascript-scene/what-is-webassembly-the-dawn-of-a-new-era-61256ec5a8f6> [Последњи приступ: 10.10.2023.]
- [6] Get Started with Yew, урл: <https://yew.rs/> [Последњи приступ: 10.10.2023.]
- [7] Get Started with Diesel, урл: <https://diesel.rs/> [Последњи приступ: 5.10.2023.]
- [8] Demola Malomo, “Exploring Yew – The Rust-based Frontend Framework”, урл: <https://malomz.medium.com/exploring-yew-the-rust-based-frontend-framework-as-a-react-developer-bde10dd95dea> [Последњи приступ: 14.10.2023.]
- [9] Alice and Bob, “Building a website in Rust using Rocket and Yew”, урл: https://theadventuresofaliceandbob.com/posts/rust_rocket_yew_part1.md [Последњи приступ: 15.10.2023.]

Кратка биографија:



Огњен Богдановић рођен је у Руми 12. јуна 1999. године. Факултет техничких наука у Новом Саду, студијски програм Рачунарство и аутоматика уписао је 2018. године. Након завршених основних студија, 2022. године, уписао је мастер академске студије из исте области.

контакт:
bogdanovicognjen@gmail.com

ANALIZA SENTIMENTA PESAMA**MUSIC SENTIMENT ANALYSIS**

Žarko Blagojević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast: SOFTVERSKO INŽENJERSTVO I INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

Kratak sadržaj – Rad opisuje poređenje pristupa za klasifikaciju sentimenta pesama. Za potrebe rada kreiran je skup podataka koji sadrži audio karakteristike, tekstove i sentimente pesama. Poređeni su klasični NLP pristupi za klasifikaciju teksta i generativni pristup upotrebom GPT modela..

Ključne reči: Analiza sentimenta, RNN, Word2Vec, GloVe, LLM, GPT

Abstract – This paper describes a comparison of approaches for classifying the sentiment of songs. For the purposes of the study, a dataset was created that includes audio characteristics, lyrics and song sentiments. Classic NLP approaches for text classification and a generative approach using GPT models were compared

Keywords: Sentiment analysis, RNN, Word2Vec, GloVe, LLM, GPT

1. UVOD

Sistemi za striming muzike, poput Spotify, Deezer, YouTube Music i sl. koriste milijarde ljudi svakodnevno. Pored toga što omogućavaju slušanje gotovo sve muzike ikada zabeležene u digitalnom formatu, od suštinske važnosti za uspeh takvih sistema jeste mogućnost lake pretrage i preporuke muzike korisnicima kako bi što duže vremena proveli na striming platformama. Trenutno raspoloženje korisnika važan je prediktor tipa muzike koju želi da sluša u datom trenutku. Samim tim, sentiment pesme, odnosno raspoloženje koje pesma nosi, predstavlja jedan od ključnih parametara na osnovu kojeg se pretraga i preporuka pesama u ovakvim sistemima može vršiti.

Kako sistemi za strimovanje muzike imaju velik broj pesama, manuelno organizovanje pesama po sentimentu nije moguće izvršiti. Stoga je za rešavanje ovog problema neophodan automatizovan pristup, koji bi sa visokom preciznošću uspeo da svrsta pesme u odgovarajuće klase raspoloženja. U ovom radu prikazano je nekoliko pristupa za klasifikovanje sentimenta na osnovu teksta i audio karakteristika pesama. Najpre su primenjeni različiti pristupi za pretvaranje teksta pesama u vektore (LSTM, GRU, Word2Vec, Glove i BERT) kako bi se zajedno sa audio karakteristikama pesama slali na klasifikaciju. Pored klasičnog NLP pristupa isprobana je i klasifikacija pomoću generativnog modela gpt-3.5-turbo.

NAPOMENA:

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

2. PREGLED STANJA U OBLASTI

Problem klasifikacije sentimenta pesama predstavlja deo oblasti pod imenom Music Information Retrieval. Ova interdisciplinarna oblast bavi se organizacijom, analizom i prikupljanjem raznih informacija vezanih za muziku. To čini kombinujući teoriju muzikologije, procesiranja audio signala, računarskih nauka i od skora mašinskog učenja, sa ciljem automatske analize, indeksiranja, pretrage i preporuke muzike bazirane na različitim atributima. Ovo polje na popularnosti dobija razvojem računara krajem prošlog veka i ranih 2000-ih. U ovom poglavlju biće opisana rešenja relevantna za klasifikaciju sentimenta muzičkih numera.

U 2000-im godinama klasifikacija sentimenta pesama svodila se isključivo na kreiranje audio karakteristika koje su dovodene na klasične klasifikatore mašinskog učenja (SVM, Decision trees, itd.). Porast primene dubokih neuronskih mreža za analizu teksta i klasifikaciju u periodu nakon 2010. omogućio je uključivanje tekstova pesama bogatih informacijama u klasifikaciju sentimenta pesama, značajno poboljšavajući dotadašnje rezultate.

Autor Kano u svojoj doktorskoj disertaciji opisuje više aspekata muzičkih preporuka baziranih na sentimentu [1]. U radu su opisani različiti pristupi kreiranja sistema preporuka koji prate raspoloženje slušalaca (engl. Mood-Aware Music Recommenders). Takođe su istraženi različiti načini reprezentacije reči (Bag-Of-Words CBOW, Skip-Gram i Glove). Pokazano je da tačnost u analizi sentimenta korišćenjem različitih pretreniranih modela zavisi od prirode teksta koji se klasifikuje. Za klasifikaciju tekstova pesama najbolje pokazao GloVe model treniran nad twitter korpusom, iskorišćen u ovom radu, samo nad drugačijim skupom podataka.

U radu [2] takođe su upotrebljeni različiti pristupi dobijanja vektora reči. Prvo su implementirani tzv. baseline modeli: bag-of-words i TF-IDF. Sledeći pristup bio je da se vektori reči dobiju pomoću word2vec modela koji je treniran na tekstovima pesama, zatim pomoću samo google-news-300 modela, da bi na kraju bio iskorišćen google-news-300 model dotreniran tekstovima iz korpusa. Dobijeni vektori pojedinačnih reči su usrednjeni kako bi se dobio vektor celog teksta.

U trećem pristupu iskorišćena je LSTM neuronska mreža za vektorizaciju. Najbolje rezultate postigao je word2vec model treniran nad korpusom, koji je dao bolje rezultate čak i od LSTM modela. Pretpostavka autora je da je do iznenađujućeg rezultata došlo zato što je word2vec model treniran nad veoma velikim korpusom, te je uspeo da napravi veoma dobre reprezentacije reči.

3. METODOLOGIJA

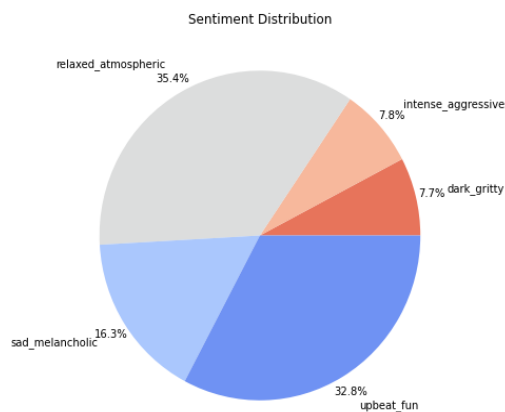
Klasifikacija sentimenta pesme u ovom radu zasniva se na analizi audio karakteristika pesama (tabelarni podaci) i tekstova pesama (prirodni jezik). Pod pretpostavkom da kombinovanje ovih podataka daje širi kontekst o svakoj pesmi, ulazni podaci iskorišćeni su za predviđanje jedne od pet klasa ciljnog obeležja, čineći problem koji se rešava klasifikacijom sa više klasa.

3.1. Skup podataka

Skup podataka korišćen za treniranje i testiranje modela stvoren je za potrebe ovog rada. Rezultirajući skup podataka nastao je kombinacijom dva javno dostupna skupa podataka o muzičkim numerama sa sajta Kaggle i prikupljanjem tekstova pesama (engl. web scraping) sa sajta genius.com.

Prvi skup podataka preuzet sa sajta Kaggle nosi naziv „MuSe: The Musical Sentiment Dataset“ i bio je ključan za ovaj rad jer u sebi sadrži obeležje seeds, koje predstavlja listu osećanja koju svaka pesma nosi. Iako tagovi sami po sebi predstavljaju sentiment, njihov broj bio je preveliki da bi klasifikacija imala smisla. Stoga su, na osnovu analize svih prisutnih osećanja, tagovi grupisani u pet semantičkih grupa: Relaxed/Atmospheric Upbeat/Fun, Intense/Aggressive, Dark/Gritty i Sad/Melancholic, gde je svakoj pesmi dodeljena grupa iz koje takvi tagovi prevlađuju.

Zastupljenost pesama koje nose određeni sentiment prikazuje Slika 1, koja ukazuje da je skup podataka nebalansiran. Ovo značajno utiče na sam proces treniranja modela, ali i izbor adekvatnih metrika za evaluaciju modela.



Slika 1. Količinski udeo pesama svakog sentimenta

Drugi skup podataka preuzet sa Kaggle-a nosi naziv „Spotify Tracks DB“ i u najvećoj meri nosi informacije o audio karakteristikama pesama. Pored naziva pesama i izvođača, prisutna je i lista žanrova kojima pesma pripada. Kategorički podaci o pesmama, poput moda (durska, molaska lestvica) i takta (2/4, 3/4, 4/4, 5/4) kodirani su uz pomoć One Hot Encoding metode. Karakteristike pesama poput akustičnosti, mogućnosti da se pleše uz pesmu (danceability), energije, prisutnosti teksta (speechiness), pozitivnosti pesme (valence) nalazile su se u rasponu od 0-1, dok su tempo pesme (BPM – beats per minute) i glasnoća skalirani na ovaj raspon putem min-maks skaliranja.

Nakon prečišćavanja ova dva skupa podataka, izvršeno je spajanje na osnovu spotify_id kolone. Rezultirajući skup podataka ima približno 6500 redova.

Kako nijedan od pomenutih skupova podataka nije sadržao tekstove pesama, za spojeni skup podataka izvršeno je prikupljanje tekstova (engl. web scraping) sa popularnog sajta za tekstove pesama genius.com. Skripta za prikupljanje tekstova pesama je na osnovu imena izvođača i naziva pesme, oslanjajući se na Google search API, pronalazila linkove do stranica tekstova datih pesama na ciljnom sajtu. Zatim su tekstovi pesama izvučeni uz pomoć biblioteke BeautifulSoup. Prikupljanje teksta bilo je uspešno za oko 5500 pesama (od 6500 iz prethodno spojenog skupa podataka), pa su ostale pesme odbačene zbog nemogućnosti da se nad njima primene modeli procesiranja prirodnog jezika. Nakon kreiranja skupa podataka i njegove podele na obučavajući, validacioni i test skup, tablarne audio karakteristike i tekstualni podaci su preprocesirani sa ciljem njihove pripreme za obučavanje modela i njihovu evaluaciju.

3.2. Klasičan NLP pristup

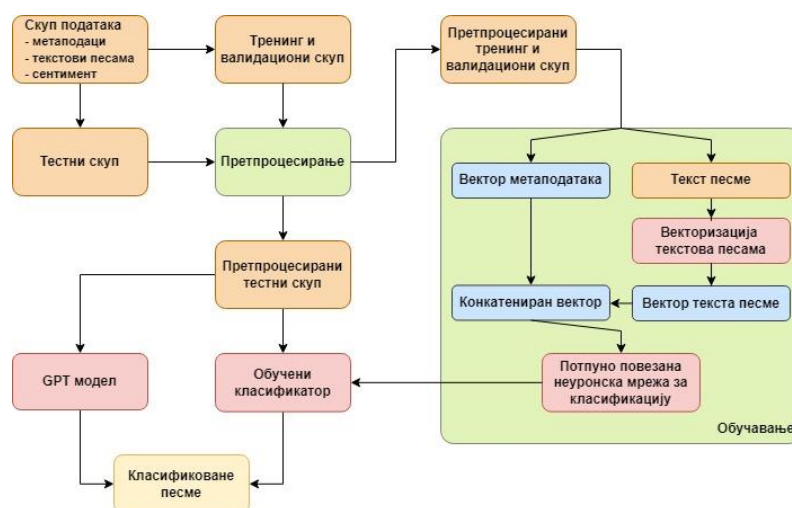
Izdvojeni preprocesirani trening skup koristi se za obučavanje modela za klasifikaciju sentimenta pesama. Da bi se tekstualni podaci mogli proslediti neuronskoj mreži na klasifikaciju, neophodno ih je pretvoriti u vektore koji bi na odgovarajući način uhvatili semantičku vrednost teksta. Dobijeni vektor teksta pesme se potom konkatenira na vektor audio karakteristika odgovarajuće pesme i šalje na potpuno povezanu neuronsku mrežu koja se obučava za predviđanje sentimenta pesme (Slika 4).

Prvi pristup vektorizacije teksta koristi rekurentne neuronske mreže (RNN), tačnije LSTM/GRU ćelije. Od prerađenog teksta je najpre napravljen vokabular. Za svaku reč u sekvenci teksta, iz vokabulara se dobavlja njen indeks, koji se zatim šalje embedding sloju. Jedna po jedna embedovana reč se zatim šalje RNN sloju sa LSTM ili GRU ćelijama koji od pojedinačnih vektora reči stvara jedan vektor celokupne sekvence.

Drugi pristup podrazumeva upotrebu Word2Vec i GloVe modela gde je pojedinačna reč iz sekvence prvo prevedena u vektor da bi se zatim vektor sekvence dobio usrednjavanjem vektora svake pojedinačne reči. U ovom radu iskorišćene su sledeće modeli iz biblioteke gensim: word2vec-google-news-300, glove-wiki-gigaword-300, glove-twitter-200

Finalni pristup vektorizacije koristi BERT transformer. Sirov tekst svake pesme pretvoren je u vektor pomoću bert-base-uncased modela, implementacije BERT-a iz transformers biblioteke napravljene od strane kompanije Hugging Face.

Za obučavanje potpuno povezane neuronske mreže za klasifikaciju korišćen je optimizator ADAM. Kao funkcija greške iskorišćena je categorical crossentropy. Klasifikator je izgrađen kao kombinacija potpuno povezanih slojeva sa aktivacionom funkcijom ReLU i Dropout slojeva, sve u cilju sprečavanja pretreniranosti (overfitting). Izlazni sloj klasifikatora čini pet neurona (za pet klasa) sa Softmax aktivacionom funkcijom. Rezultat izlaznog sloja je vektor verovatnoća pripadnosti određenoj klasi, gde je predviđena klasa ona čija je verovatnoća najveća.



Slika 2. Shema sistema implementiranog u radu

3.3. Generativni pristup

Iako generativni modeli nisu pravljeni sa ciljem da se koriste kao klasifikatori, moguće je iskoristiti formu dijaloga za klasifikaciju. Princip na kojem počiva svaki GPT model jeste predviđanje najverovatnije sledeće reči na osnovu korisničkog unosa. Imajući to u vidu, jedan pristup klasifikaciji pomoću generativnog modela svodi se na sledeće korake:

1. Kroz sistemsku poruku pružiti modelu kontekst zadatka koji treba da izvrši, što obuhvata:
 - Koji atributi i u kom formatu će biti prosleđeni modelu za svaki test primer i koje je značenje tih atributa i njihovih vrednosti.
 - Koje su ponuđene klase koje model može da odabere pri klasifikaciji i šta predstavlja svaka klasa.
 - Bilo koja dodatna ograničenja vezana za konkretni klasifikacioni problem
 - U slučaju predviđanja sa primerom (engl. few-shot learning), modelu treba proslediti i reprezentativne primere svake od klasa.
2. Pružiti test primere koji treba da se klasifikuju.
3. Prikupiti i prečistiti odgovore koje je model dao.

Na osnovu gorenavedenog radnog okvira za pristupe klasifikaciji generativnim modelima, implementirano je nekoliko pristupa.

Klasifikacija bez primera (engl. zero-shot learning) kod generativnih modela se svodi na prosleđivanje samo pravila koja model mora da poštuje pri davanju odgovora i informacije o pesmi. Za ovaj pristup implementirane su dve verzije.

Prva verzija predstavlja najjednostavniju, tzv. „naivnu“ implementaciju klasifikacije generativnim modelima. Sistemaska poruka sadrži slabo strukturirane rečenice koje nisu sažete i direktne, što otežava modelu da ih shvati i ispoštuje. Modelu su pri klasifikaciji u slobodnoj formi prosleđeni naziv izvođača pesme i tekst pesme, bez ostalih dostupnih audio karakteristika. Iako ovaj pristup jeste „naivan“, troši najmanje tokena, a samim tim i novca pri pozivima OpenAI API-ja i predstavlja referentnu tačku za ostale modele.

U drugoj tzv. „deskriptivnoj“ verziji predviđanja bez primera, pored teksta i osnovnih informacija o pesmi

prosleđeni su ostali bitni metapodaci. Ovaj pristup podrazumeva znatno direktniju i precizno strukturiranu sistemsku poruku, u kojoj je tačno opisan format u kojem će model primiti informacije o pesmi. Odabrani format za opisivanje pesme je JSON objekat, gde je u sistemskoj poruci opisano koje tačno attribute model može da primi i koje je njihovo značenje. Zatim bi se za svaku pesmu modelu prosleđivalo pitanje u zadatom JSON formatu. Bitan detalj je da se tekst pitanja u ovoj verziji završava sa "Sentiment is: ", odnosno započinjanjem odgovora koji treba da finalizuje sam model. Na ovaj način, model je dodatno naveden da svoj odgovor ograniči samo na ime klase koju smatra pogodnom za datu pesmu u odnosu na prethodnu verziju, gde je često znatno divergirao od instrukcija.

Predviđanje sa primerima (eng. few-shot learning) kod klasifikacije generativnim modelom svodi se na to da se modelu nakon sistemske poruke proslede pesme koje najbolje predstavljaju date klase. Informacije svake ove reprezentativne pesme se dodaju u istoriju "dopisivanja" u istom formatu pitanja. Odmah nakon svake pesme se dodaje odgovor modela - klasa koja je unapred poznata - u formi poruke sa ulogom "assistant". Nakon ovih primera, modelu se šalje pitanje za konkretnu pesmu koju treba da klasifikuje i beleži odgovor.

Prva verzija ovog pristupa, one-shot learning, implementirana je tako što su za svaku od klasa odabrani reprezentativni primeri, dok je druga verzija, odnosno two-shot learning, implementirana tako što su, zbog ograničenja koje su unosili troškovi poziva OpenAI API-ja, primeri ograničeni samo na dve klase: *relaxed_atmospheric* i *sad_melancholic*, koje su se ispostavile problematičnim zbog sličnosti određenih aspekata pesama koje ih predstavljaju.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Finalna evaluacija je izvršena nad istim test skupom za sve pristupe. Za poređenje su iskorišćene makro usrednjene vrednosti preciznosti, odziva i F1 mere (sve klase podjednako bitne). Zbog nebalansiranosti podataka tačnost nije uzeta u obzir.

Modeli su optimizovani tako da se maksimizuje makro usrednjena preciznost uz obrazloženje da je minimizacija

lažno pozitivnih primera bitno u scenariju korišćenja klasifikovanih pesama za preporuke muzike spram raspoloženja. Ukoliko korisnik jednog takvog sistema odluči da mu se sluša srećna muzika kako bi se oraspoložio, problem bi nastao kada bi sistem ponudio tužnu pesmu koja je označena kao srećna. Pretpostavka u ovom radu je da takva situacija predstavlja mnogo veći problem od toga da sistem bude više rigorozan, te da za pesmu koja zaista jeste srećna kaže da nije srećna ako nije skroz siguran (manje je bitna minimizacija lažnih negativnih, odnosno maksimizacija odziva).

4.1. Poređenje klasičnih NLP pristupa

Rezultate makro usrednjenih vrednosti metrika za klasične NLP pristupe prikazuje Tabela 1. Najveću makro usrednjenu preciznost od 0,68 postigao je pristup koji je za vektorizaciju teksta iskoristio **word2vec model treniran nad Google News korpusom**.

Tabela 1. Makro prosek mera za sve NLP pristupe

Макро просек			
Пристап	Прецизност	Одзив	F1 мера
LSTM	0.58	0.52	0.54
GRU	0.55	0.52	0.53
word2vec-google-news-300	0.68	0.44	0.42
glove-wiki-gigaword-300	0.63	0.46	0.49
glove-twitter-200	0.66	0.4	0.4
BERT	0.65	0.41	0.42

Iako word2vec nije treniran nad muzičkim korpusom, pokazao je značajno bolje rezultate od RNN pristupa, što je u skladu s rezultatima iz [2].

RNN su imale lošije rezultate od ostalih pristupa uz pretpostavku da je skup za obučavanje bio mali. RNN bi potencijalno dale bolje rezultate da vokabular nije građen od skupa tekstova pesama već preuzet iz kolokvijalnih word2vec-google-news ili glove-twitter modela treniranih nad mnogo većim korpusom.

Model koji koristi BERT za vektorizaciju se po metrikama iznenađujuće nalazi između RNN i Word2Vec/GloVe, iako je među modelima s najbogatijom reprezentacijom reči. Rezultati s ovim enkoderom potencijalno bi se poboljšali kada bi se dotrenirao nad kolokvijalnim tekstovima pesama.

4.2. Poređenje generativnih pristupa

Rezultate makro usrednjenih vrednosti metrika za generativne pristupe prikazuje Tabela 2. Najveću makro usrednjenu preciznost postigao je „deskriptivni“ pristup bez primera koji prikazuje skok od čak 20% u makro usrednjenosti (0,63), što ga čini malo lošijim od BERT pristupa (0,65).

Tabela 2. Makro prosek mera za sve generativne pristupe

Макро просек			
Пристап	Прецизност	Одзив	F1 мера
Naive Zero Shot	0.43	0.41	0.41
Descriptive Zero Shot	0.63	0.57	0.57
One shot	0.44	0.25	0.27
Two shots	0.39	0.34	0.33

Pretpostavka jeste da je značajno poboljšanje posledica jasnih i direktnih instrukcija, kao i strukturiranih informacija o tekstu i audio karakteristikama pesama.

Makro usrednjena preciznost generativnog pristupa sa jednim primerom po klasi, iako mnogo skuplja, jedva je bolja od "naivnog" pristupa bez primera, što je suprotno inicijalnoj pretpostavci da će modeli tačnije odrediti klasu pesme ukoliko mu se prikažu primeri.

U skladu sa ovim, generativni pristup sa dva primera je dodatno pogoršao celokupni rezultat, gde je makro usrednjena preciznost najgora od svih pristupa i iznosi 0,39. Još jedna začuđujuća stavka kod ovog pristupa jeste da je za dosta pesama iz test skupa model odlučio da pripadaju "upbeat_fun" klasi, o čemu svedoči mala preciznost od svega 0,5 i izuzetno visok odziv od 0,94.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu pokazano je da je, iako generativni modeli nisu pravljeni sa klasifikacijom u cilju, moguće napraviti klasifikator koji ima slične performanse kao modeli koji su za to pogodniji.

Pretpostavka je da primena generativnih modela za klasifikaciju nad malim skupovima podataka može pokazati dobre rezultate zbog ogromnog opšteg znanja koje ovi modeli poseduju. Međutim i skup od oko 5000 redova podataka pokazao je kako su klasični NLP pristupi moćniji kada postoji dovoljno podataka nad kojima mogu da se istreniraju.

Dalji razvoj rešenja išao bi u pravcu prikupljanja većeg skupa podataka, kao i kombinacije pristupa opisanih u ovom radu (LSTM koji koristi Word2Vec ili GloVe vektore za širi, kolokvijalni vokabular), ili dotreniranja BERT modela nad tekstovima pesama. Pristup sa generativnim modelom koji dobija primere pesama mogao bi se poboljšati sa drugačijim odabirom reprezentativnih pesama i slanjem većeg broja primera svake klase, što bi dodatno povećalo trošak ovog pristupa. Bolje rezultate bi potencijalno donela i drugačija heuristika za kreiranje ciljnog obeležja od tagova sentimenta.

6. LITERATURA

- [1] E. Čano, "Text-based Sentiment Analysis and Music Emotion Recognition," arXiv:1810.03031 [cs], Jun. 2018, doi: <https://doi.org/10.6092/polito/porto/2709436>.
- [2] M. McVicar, B. Di Giorgi, B. Dundar, and M. Mauch, "Lyric document embeddings for music tagging," arXiv.org, Nov. 29, 2021. <https://arxiv.org/abs/2112.11436> (accessed Nov. 07, 2023).

Kratka biografija:



Žarko Blagojević rođen je u Sremskoj Mitrovici 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarska inteligencija – Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije odbranio je 2023. godine.

Kontakt: zarexblage00@gmail.com

OBRADA I ANALIZA SATELITSKIH VIDEO SNIMAKA PROCESSING AND ANALYSIS OF SATELLITE VIDEOS

Ana Rašić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIČKO I RAČUNARSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – U radu je razmatrana analiza i obrada video snimaka Zemljine površine načinjenih sa senzorima slike postavljenim na satelitskim platformama. Korišćene su video sekvence sa Jilin-1 satelita na kojima postoji značajna dinamika scene u vidu pokretnih objekata kao što su vozila, brodovi i avioni. Na primeru takvih snimaka analizirane su mogućnosti modela za praćenje pokretnih objekata koji se oslanjaju na arhitekturu sijamskih neuronskih mreža. Isti model za praćenje objekata kvalitativno je testiran, bez prethodnog prilagođavanja, i na lokalnim video sekvencama načinjenim sa dronom i ručnim kamerama.

Ključne reči: Daljinska detekcija, satelitsko osmatranje, video signal, praćenje pokretnih objekata

Abstract – The paper discusses analysis and processing of video recordings of the Earth's surface made with image sensors placed on satellite platforms. Video sequences made with Jilin-1 satellite which contain significant scene dynamics in the form of moving objects such as vehicles, ships and planes were used. On the example of such recordings, the capabilities of models for tracking moving objects based on the architecture of Siamese neural networks were analyzed. The same object tracking model, without prior adjustment, was also qualitatively tested on local traffic video sequences made with drone and handheld cameras.

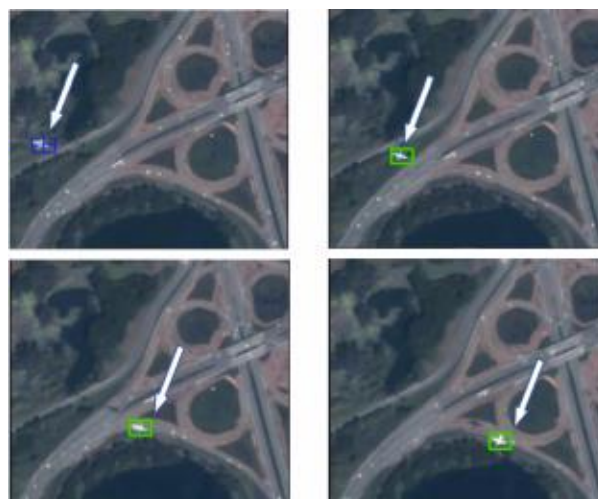
Keywords: Remote sensing, satellite imaging, video signal, tracking of moving objects

1. UVOD

Daljinska detekcija poslednjih godina pokazuje značajno prisustvo u različitim domenima i ima veoma važnu ulogu u praćenju prirodnih katastrofa (uragana, šumskih požara i poplava), u meteorologiji za potrebe vremenske prognoze, i različitim geološkim istraživanjima [1]. Koristi se tokom planiranja infrastrukturnih objekata kao što su putevi, železnička pruga, ili gasovod, ali i generalno u rešavanju brojnih društvenih i ekonomskih izazova. Posebnu oblast interesovanja predstavlja domen satelitskih video snimaka. Ovakvi signali poseduju jedinstvene karakteristike i zbog toga zahtevaju prilagođenu metodologiju za obradu i analizu u cilju skladištenja, prenosa, i izdvajanja korisnih informacija. U radu će biti prikazane neke od tehnika kompjuterske vizije koje se koriste u te svrhe. Svi sistemi daljinske detekcije generalno razmatraju sledećih sedam

elemenata: 1) izvor energije ili osvetljenja (za pasivne instrumente to je obično Sunce ili neki drugi prirodni izvor zračenja, dok je za aktivne instrumente to sam senzor koji emituje zračenje); 2) uticaj okruženja na propagaciju zračenja; 3) interakciju zračenja sa objektom; 4) način akvizicije reflektovane energije; 5) prenos, prijem i obradu snimljenih signala; 6) interpretaciju i analizu slike; 7) primenu izdvojenih informacija u cilju rešavanja određenog zadatka, u zavisnosti od primene. Brojnost i raznovrsnost satelitskih sistema namenjenih snimanju znatno se povećala, ali i dalje možemo da ih podelimo u nekoliko kategorija u zavisnosti od toga koje senzore koriste i kakva je njihova rezolucija.

Prvu grupu čine sistemi nalik Landsat sistemu projektovani za postizanje široke geografske pokrivenosti sa umerenim nivoima detalja. Podaci iz ovih sistema korišćeni su u različite svrhe, a najviše u istraživanju i praćenju zemljišnih i vodnih resursa. U drugu grupu spadaju sistemi dizajnirani za prikupljanje slika veoma širokih razmera u grubim rezolucijama. Treću grupu čine sateliti koji pružaju fine detalje u malim regionima i čiji podaci se npr. koriste u urbanističkom planiranju. Iako je ova kategorizacija nesavršena, ona nam pomaže da razumemo mogućnosti satelitskih snimaka koji su trenutno dostupni. Sa druge strane, oblast satelitskih video signala je potpuno novi modalitet satelitskih informacija koji generiše video sekvence sa relativno malom vremenskom rezolucijom do desetak sličica u sekundi. Međutim, za razliku analiza promena na vremenskoj razmeri od nekoliko sati, do nekoliko dana ili godina, satelitski video snimci uključuju i analize karakteristične za kompjutersku viziju, kao što je praćenje pokretnih objekata u sceni, Slika 1.



Slika 1. Uspešno praćenje aviona u letu na satelitskom video snimku

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Branko Brkljač, vanr. prof.

2. SATELITSKI VIDEO SNIMCI

Obrada i analiza satelitskih video snimaka postaje značajan pravac istraživanja u oblasti daljinske detekcije. Jedan od glavnih izazova analize predstavlja detekcija i praćenje objekata u pokretu. Snimci obezbeđuju kontinuirani prikaz velikih površina i dinamičko praćenje objekata u realnom vremenu [2]. Međutim, praćenje predstavlja izazovan zadatak [3]. Pored toga, efekti pseudo-pokreta uzrokovani kretanjem kamere i okluzijom objekta ometaju preciznu detekciju i na taj način inicijalizaciju trekera. Promena uslova osvetljenja predstavlja dodatne poteškoće. Proteklih godina predloženo je dosta metoda za praćenje objekata koje su se pokazale dobro kada je reč o standardnim video snimcima. Međutim, praćenje objekata u satelitskim video snimcima nailazi na mnogo izazova, uključujući:

- Veličinu objekata, tj. prostornu rezoluciju, koja je veoma mala. U konvencionalnim video snimcima objekti su uglavnom relativno veliki i lako se razlikuju od ostatka scene, ali u satelitskim video snimcima objekti koji su u pokretu obično se sastoje od svega nekoliko piksela bez karakterističnih boja i teksture i čine veoma mali deo celokupne veličine videa. Nizak nivo detalja takođe otežava dobijanje određenih karakteristika objekata značajnih za analizu, što otežava odlučivanje.
- Objekte je lako zakloniti. Video sateliti često koriste pogled iz ptičije perspektive, mnogi objekti na satelitskim video snimcima su delimično ili potpuno zaklonjeni što otežava detekciju ili praćenje.
- Pozadina je previše složena. Zbog velikog vidnog polja satelitskih video snimaka, oni mogu da snimaju najrazličitije površine i objekte, poput puteva, vodenih površina, zgrada, vegetacije, itd. Sve ovo utiče na to da je pozadina veoma složena, heterogena i otežava izdvajanje prednjeg plana (sićušnih, pokretnih objekata), Slika 2.



Slika 2. Nivo detalja vozila na satelitskim video snimcima

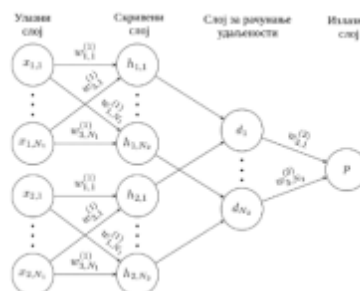
3. PROBLEMI DETEKCIJE I PRAĆENJA

U domenu daljinske detekcije termin „objekat“ ima dosta apstraktnije i šire značenja u poređenju sa istim terminom u oblasti kompjuterske vizije [4]. Dok se u kompjuterskoj viziji termin „objekat“ obično odnosi na tačno određen, specifičan entitet ili stvar na slici, u oblasti daljinske detekcije „objekat“ se odnosi na vidljive karakteristike i entitete, ali unutar većih scena snimljenih određenim satelitom. Prostorna rezolucija u daljinskoj detekciji definiše najmanji objekat koji se može uočiti senzorom, što dovodi do dve različite metode klasifikacije: analize zasnovane na pikselima i objektno orijentisane analize slike (engl. OBIA). Osnovni cilj detekcije objekta jeste da se napravi računarski model koji će pružiti neophodne informacije – da li je objekat određene kategorije na slici (detekcija) i gde se nalazi (lokalizacija). Detekcija objekta može se realizovati korišćenjem osnovnih tehnika obrade slike (korišćenjem „klizajućih prozora“, engl. sliding window) ko-

je su jednostavnije, ali i računarski zahtevnije, ili korišćenjem dubokih neuronskih mreža, koje detekciju i lokalizaciju svode na regresioni problem. U tom smislu, postoje dve vrste detektora: jednostepeni i dvostepeni. Dvostepeni prate tradicionalni pristup sa odbojenom lokalizacijom i klasifikacijom objekta, dok jednostepeni detektori posmatraju zadatak detekcije kao regresioni problem. Odlučivanje se najčešće zasniva na naučenim obeležjima, korišćenjem konvolucionih neuronskih mreža (engl. Convolutional Neural Network, CNN). Što se tiče praćenja, postoje različite tehnike i algoritmi koji pokušavaju da reše probleme koji nastaju prilikom praćenja objekata na različite načine, ali većina se oslanja na dve ključne stvari: model pokreta, koji predviđa buduću poziciju objekta na osnovu njegovog dinamičkog ponašanja, i model vizuelnog izgleda, neophodan za razlikovanje objekata od pozadine. Proces praćenja uključuje inicijalizaciju cilja, modelovanje izgleda, procenu kretanja i pozicioniranje mete. U oblasti koja se bavi satelitskim snimcima, većina metoda je proizašla iz istraživanja u domenu dnevnih video snimaka koji se inače koriste u ove svrhe. Osnovne metode praćenja zasnivale su se na metodama kao što su Kalmanov filter, filter čestica i optički tok, koje međutim nailaze na ograničenja u vidu striktnih parametara ili jednostavnih scenarija. Međutim, u skorije vreme metode praćenja značajno su poboljšane korišćenjem sijamske arhitekture neuronskih mreža u kombinaciji sa dubokim učenjem.

4. SIJAMSKE MREŽE

Sijamske mreže prvi put su predstavljene početkom devedesetih godina prošlog veka u cilju rešavanja problema verifikacije svojeručnih potpisa. Uopšteno gledano, ovakve strukture se sastoje od najmanje dve identične mreže koje su spojene na izlazu. Kada se kaže identične, misli se na mreže koje imaju iste parametre i težine. Korekcije težina tokom obuke imaju za cilj da omoguće formiranje nelinearne funkcije rastojanja između dve ulazne slike, referentnog signala i upita za koji je potrebno odrediti u kojoj meri se poklapa sa referentnim signalom. Jedan primer ovakve strukture sa N1 ulaznih i N2 potpuno povezanih neurona prikazan je na Slici 3. Nakon sloja za računanje rastojanja, sledi izlazni sloj p koji se sastoji od jednog neurona. Pošto su unutar dve podmreže težine identične, dve veoma slične slike ne bi trebalo da budu mapirane na različite lokacije u prostoru obeležja, tako da ni njihova udaljenost ne može biti velika. U poređenju sa uobičajenim modelima u nadgledanom učenju, sijamske mreže imaju određene prednosti. Tako prilikom unosa novih kategorija ili referentnih signala u sistem nije potrebno obučavati ceo model ispočetka, ili ažurirati parametre. Takođe, prilikom obuke najčešće ne zahtevaju skupove podataka sa velikim brojem instanci.



Slika 3. Ilustracija strukture sijamske mreže

Sijamske mreže su privukle pažnju u vizuelnom praćenju zbog svoje uravnoteženosti između tačnosti i brzine izvršavanja [5]. Međutim, korišćenje plitkih struktura za izdvajanje obeležja u sijamskim mrežama, poput AlexNet, predstavljalo je problem. Takođe, u [5] su analizirane i mreže poput VGG, Inception i ResNet. Međutim u slučaju pokretnih objekata u satelitskim video snimcima nisu donele značajna poboljšanja, a pokazano je da mogu i da izazovu pad performansi kada se dubina i širina mreže povećaju [5]. Ovaj fenomen je u suprotnosti sa dokazima da je povećanje dubine i širine mreže korisno za poboljšanje modela. Autori rada [5] analizirali su arhitekturu sijamske mreže modifikujući strukture mreža kako bi se razumeo uticaj pojedinačnih faktora, komponenata ili elemenata unutar modela. Ova studija je pokazala da trekeri bazirani na sijamskim neuronskim mrežama preferiraju da receptivno polje izlaznih obeležja bude podešeno na osnovu njegovog odnosa prema rezoluciji detalja slike koja se koristi kao uzorak. Korak mreže, receptivno polje i veličina izlaznih karakteristika treba uzeti u obzir kao celinu kada se kreira arhitektura mreže zato što ova tri faktora nisu nezavisna jedan od drugog. Zajedničko razmatranje sva tri faktora može pomoći mreži da izdvoji više diskriminativnih obeležja. Kako bi se prevazišao problem plitkih mreža, nastala je SiamDW arhitektura koja donosi dublje i šire mreže slaganjem CIR jedinica [6]. U sveobuhvatnoj studiji [5] pokazano je da upravo SiamDW arhitektura ima najuravnoteženije performanse u odnosu na više razmatranih kriterijuma za merenje uspešnosti praćenja pokretnih objekata u satelitskim video snimcima. Iz tog razloga, ovakav model je usvojen kao najbolji i za kvalitativne eksperimente razmatrane u ovom radu.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1 Baza podataka

Baza podataka korišćena u ovom radu je SV248S, prikupljena putem Jilin-1 satelita kompanije Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd. [7]. Rezolucija videa je oko 0.92 metra. Video snimak koji je snimio satelit ima vremensku rezoluciju od 10 frejmova u sekundi, ali su video sekvence korišćene u eksperimentima interpolirane pomoću VFI (engl. Video Frame Interpolation) metode na 25 sličina u sekundi. Kako bi se prilikom razmatranja karakteristika trekeru što više izbegao loš uticaj opisane interpolacije na ciljane piksele (delove vozila, brodova i aviona), odabrano je 248 dobrih meta iz 6 video snimaka različitih područja, na koje VFI najmanje utiče. Ova baza podataka uključuje 4 kategorije objekata: vozila, velika vozila, brodove i avione. Vozila predstavljaju najčešće mete, a zbog veličine predstavljaju scenarije praćenja koji se smatraju izazovnijim od drugih objekata. Ovaj skup podataka se uglavnom fokusira na male mete jer su ovakvi objekti najteži za praćenje u satelitskim video snimcima. Takođe, uvedeni su i atributi koji označavaju poteškoće koje se javljaju u video snimcima, pa se tako razlikuju INV, NOR i OCC stanja objekata. INV (engl. Invisible) je stanje kada je objekat nestao bez ikakve okluzije ili se usled prevelike sličnosti utopio sa pozadinom. NOR (engl. Normal Visible) je stanje kada je vozilo vidljivo i lako se može uočiti. OCC (engl. Occlusion) predstavlja stanje okluzije kada je vozilo u senci neke zgrade ili iza nekog drugog objekta, poput mostova ili visokih građevina.

5.2 Praćenje pokretnih objekta

U svim eksperimentima korišćena je implementacija SiamDW modela [8]. Pored opisane baze satelitskih video snimaka, rešenje je testirano i na video sekvencama dobijenim snimanjem iz drona i korišćenjem ručnih kamera. Takođe, razmatrana je osetljivost modela na promenu modaliteta signala, tako što su umesto standardnih snimaka u boji korišćene i pseudo kolor slike dobijene kombinovanjem vidljivog i infracrvenog dela spektra. Cilj dodatnih eksperimenata bio je da se ustanovi robusnost trekeru na promene rezolucije slike, razmere objekata, prisustvo perspektivnih transformacija i značajne promene izgleda u slučaju promene modaliteta snimanja. Neki od rezultata kvalitativnih analiza ilustrovani su na Slikama 4-10. U nastavku će biti predstavljeni rezultati SiamDW trekeru u vidu isečaka iz različitih satelitskih snimaka koji traju 31 sekundu, snimljenih u 3 različita grada sa jedinstvenim karakteristikama:

1) Derna, Libija: veliki broje slabo naseljenih površina sa niskim kućama, otvorene ulice, vodena površina i minimalne prepreke, uz nizak kvalitet slike. U ovakvim uslovima, treker se istakao u preciznom praćenju obeleženih vozila, Slika 4.



Slika 4. Prikaz praćenja na ulicama Derna

2) Adana, Turska: pored manjih vozila na videu se nalaze i veći objekti poput kamiona, manje prepreke i dugačak pravac. Treker je bez problema pratio i male i velike objekte, što ukazuje na njegovu sposobnost prilagođavanja različitim veličinama i tipovima objekata unutar kadra. I u ovom primeru, kvalitet slike nije na zavidnom nivou.

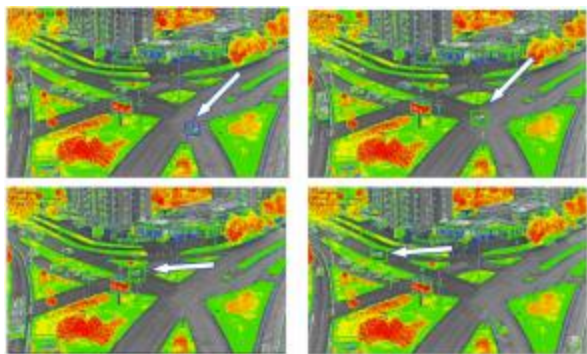


Slika 5. Prikaz praćenja na ulicama Adana

3) Mineapolis, SAD: ovaj video prikazuje široke puteve, gust saobraćaj, ali i poteškoće u vidu gustog drveća i nadvožnjaka koji mogu praviti problem usled okluzije prilikom prolaska vozila. Pored vozila, pojavljuje se i avion, koji treker takođe uspešno prati, Slika 6 i Slika 1.



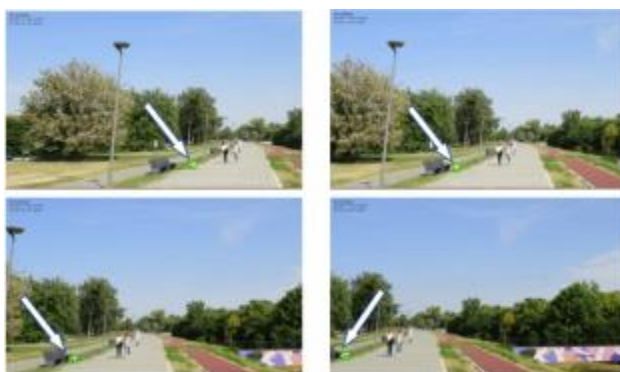
Slika 6. Prikaz praćenja velikog vozila i aviona



Slika 7. Uspešnost praćenja objekta kada se isti treker koristi na signalima značajno drugačijeg modaliteta



Slika 8. Primer greške praćenja (preuzimanje) bicikliste usled kratkotrajne okluzije, preklapanja sa pešakom



Slika 9. Uspešnost praćenja u video signalu visoke rezolucije, pri relativnom kretanju kamere u odnosu na objekat manjih dimenzija



Slika 10. Uspešno praćenje pešaka pri delimičnoj okluziji usled semafora

6. ZAKLJUČAK

Kvalitativnom analizom utvrđeno je da razmatrani model veoma uspešno prati objekte na snimcima različitog nivoa detalja, modaliteta i razmere objekata. Eksperimenti su takođe pokazali da se uspešno praćenje može realizovati samo pod uslovom da je moguća pravilna inicijalizacija trekera, a po potrebi i rešavanje problema okluzije, koja u slučaju satelitskih video snimaka, ali i snimanja iz drona, može nastati zbog različitih uticaja. U tom smislu, unapređenja ovakvih rešenja su moguća radom na dva odvojena, ali komplementarna pravca istraživanja. Ovakvi ciljevi se ne razlikuju od uobičajenih zahteva u razvoju sistema za praćenje objekata u videu, ali zbog specifičnosti satelitskih platformi, odgovarajuća rešenja iziskuju dodatni stepen prilagođavanja i razumevanja. Navedeno potvrđuju i razmatrani eksperimenti u literaturi, gde su autori [5] konstatovali da rešenja koja se smatraju uspešnijim u slučaju standardnih video snimaka ne moraju ispoljiti isti nivo kvaliteta i u slučaju satelitskih video snimaka.

7. LITERATURA

- [1] Zhao, Q., Yu, L., Du, Z., Peng, D., Hao, P., Zhang, Y., Gong, P. (2022). An overview of the applications of earth observation satellite data: impacts and future trends. *Remote Sensing*, 14(8), 1863.
- [2] Zhang, Z., Wang, C., J., & Xu, Y. (2022). Object Tracking based on satellite videos: A literature review. *Remote Sensing*, 14(15), 3674.
- [3] Chen R, Ferreira G, Li X. Detecting Moving Vehicles from Satellite-Based Videos by Tracklet Feature Classification. *Remote Sensing*. 2023; 15(1):34.
- [4] H. G, T. Blaschke, D. Marceau and A. Bouchard, A comparison of three image object methods for the multiscale analysis of landscape structure., *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 57, pp. 327-345, 2003.
- [5] Li, Y., Jiao, L., Huang, Z., Zhang, X., Zhang, R., Song, X., & Li, L. (2022). Deep learning-based object tracking in satellite videos: A comprehensive survey with a new dataset. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 10(4), 181-212.
- [6] Zhang, Z., & Peng, H. (2019). Deeper and wider Siamese networks for real-time visual tracking. *CVPR* (pp. 4591-4600).
- [7] xdai-dlgvv/SV248S, opensource satellite video datasets for object tracking: <https://github.com/xdai-dlgvv/SV248S>
- [8] SiamDW/siamese_tracking: https://github.com/researchchmm/SiamDW/tree/master/siamese_tracking

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se kolegama sa Univerziteta Xidian u Kini, članovima Intelligent Perception and Image Understanding laboratorije, a posebno Yuxuan Li na podršci istraživanju u obliku korišćenog skupa SV248S.

Kratka biografija:

Ana Rašić rođena je u Jagodini 1998. godine. Osnovne akademske studije Biomedicinskog inženjerstva na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu završila je 2021. god. Na istom fakultetu, 2023. godine završava master studije Energetike, elektronike i telekomunikacija, modul Obrada signala.

ПРЕДИКЦИЈА ДУЖИНЕ БОРАВКА ПАСА И МАЧАКА У ПРИХВАТИЛИШТУ ЗА ЖИВОТИЊЕ**PREDICTING LENGTH OF STAY FOR DOGS AND CATS IN AN ANIMAL SHELTER**Ана Граховац, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – РАЧУНАРСТВО И АУТОМАТИКА**

Кратак садржај – У овом раду описан је поступак анализе и обраде података о усвојеним псима и мачкама из прихватилице за животиње. Упореджени су различити модели машинског учења на проблему класификације животиња по предвиђеној дужини боравка у прихватилицу.

Кључне речи: анализа и истраживање података, машинско учење, класификација

Abstract – This paper explores the process of analyzing and processing data on adopted dogs and cats from an animal shelter. Various machine learning models were compared for the classification of animals based on the anticipated length of stay in the shelter.

Keywords: data science, machine learning, classification

1. УВОД

Већина прихватилица за животиње суочава се са проблемом превелике попуњености. Као резултат тога, азили често немају ресурса да приме незбринуте животиње, или чак пруже адекватну негу онима који се већ у њима налазе. Главни циљ овог рада јесте да повећа шансе за удомљавање животиња из азила, кроз предвиђање дужине њиховог боравка у истом и анализу карактеристика животиња које доводе до брзог удомљавања. Познавање ових информација омогућило би азилима да направе бољу организацију и расподелу расположивих ресурса, као и да кроз различите акције побољша шансе за удомљавање животиња са већом предвиђеном дужином останка.

Скупови података су анализирани са циљем да се утврди повезаност различитих атрибута са дужином боравка у азилу. Дужине останка груписане су у временске периоде, затим су тренирани следећи модели за класификацију: каскадни модел - бинарне класификације, *Gradient Boosting*, *Random Forest*, *XGBoost* и вештачка неуронска мрежа. Резултати су упоређивани коришћењем просечне прецизности, одзива и F1 мере.

2. ПРЕГЛЕД СТАЊА У ОБЛАСТИ

Жеља да се помогне животињама у проналаску сталног дома, као и за растерећењем прихватилице, подстакла је бројна истраживања у овој области.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Александар Ковачевић, ред. проф.

Старији радови највећим делом се баве чишћењем и статистичком обрадом података са циљем да се идентификује које су то карактеристике паса и мачака које доводе до лакшег и бржег удомљавања; радови [1, 2] неки од њих. Поменути истраживања се слажу у чињеници да старост паса и мачака једна од кључних карактеристика: најбрже су се усвајале младе животиње, док се са старашћу линерано повећава и дужина боравка. Паса и величина се такође показала као битна, међутим више код паса него код мачака, док су код мачака боја и шаре имале већи утицај. Код мачака је примећена већа потражња за мужјацима, док код паса пол није имао утицаја на брзину удомљавања.

Временом су развој и добијање на популарности метода машинског учења довели до комплекснијих радова, те су, поред анализе пожељних особина за љубимца, све чешћи и покушаји да се на основу података о псу или мачки унапред процени исход или дужина њиховог задржавања у азилу.

Бредли и Рацдердан су 2021. спровели истраживање [3] са циљем да повећају шансе за удомљавање животиња кроз две фазе где се прва бави предвиђањем дужине боравка у азилу. Предикција је рађена коришћењем логистичке регресије, вештачке неуронске мреже, *Random Forest* и *Gradient Boosting* алгоритама. Као универзално најбољи показали су се *Gradient Boosting* (макро F1 0.58) и *Random Forest* (макро recall 0.65).

Аутори рада [3] су уз табеларне податке из азила, укључили и текстуални опис мачке или пса над којим је вршена анализа сентимента. Сама процена дужине боравка вршена је помоћу следећих модела: логистичка регресија, стабла одлучивања, *Random Forest*, *Gradient Boosting*, и вештачка неуронска мрежа. Најбоље резултате дао је *Gradient Boosting*.

3. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

У овом поглављу биће представљене теоријске основе алгоритама машинског учења који су коришћени за процену дужине боравка паса и мачака у прихватилицу за животиње.

3.1. Random Forest

Random Forest је алгоритам надгледаног учења. Користи се као класификатор, али и као селектор битних особина или за редукцију димензионалности.

Random Forest повећава робусност система коришћењем већег броја стабала где је циљ да стабла буду што

мање међусобно корелирана. Ово се постиже тако што се свако стабло одлучивања тренира на производном подскупу обележја и податка (*bootstrapping*). Када се врши предикција, свако од стабала врши предвиђање и она класа која је имала највише гласова представља коначни излаз (*aggregation*).

Обучавање великог броја независних стабала решава проблем *overfitting*-а, али уједно чини алгоритам захтевнијим за извршавање и смањује могућности његове употребе у реалном времену.

3.2. Gradient Boosting

Gradient Boosting алгоритам одликује висока предиктивна моћ и способност да ухвати комплексна правила и везе међу подацима.

Принцип *boosting* алгоритма јесте да се иницијално одабере неки једноставни модел и помоћу њега се одреди предикција. Такође је потребно изабрати *loss* функцију у складу са захтевима система. Очекивано је да ће излаз оваквог модела много одступати од жељених вредности, међутим, следећи једноставни модел се тренира над грешком излаза претходног модела. Како је у питању *Gradient Boosting* алгоритам за минимизацију грешке се користи *gradient descent*. На овај начин, нови модел допуњује претходни, и збир ових модела даје тачнија предвиђања од било ког од модела појединачно.

Додатна предност је што је алгоритам релативно робусан на *outlier*-е или недостајуће податке. Ипак, компјутерски је захтеван и тешко интерпретабилан.

3.3. XGBoost

XGBoost (енгл. *Extreme Gradient Boosting*) представља врло ефикасну и скалабилну имплементацију *Gradient Boosted* стабла одлучивања. Овај алгоритам је паралелизацијом успео да значајно скрати време тренирања модела у односу на *Gradient Boosted* стабала. Уз то, уведене су опције за пенализацију прекомплексних модела помоћу *L1* и *L2* регуларизације, како би се спречио *overfitting*.

3.4. Вештачке неуронске мреже

Вештачке неуронске мреже представљају модел машинског учења инспирисан структуром и функционалношћу људског мозга.

Неуронска мрежа се састоји из вештачких неурона организованих у слојеве. На улазни слој неурона се доводи улаз у систем, док сваки следећи слој као улаз прима излаз претходног слоја неурона.

Појединачни неурон ове вредности обрађује на следећи начин: сумирају се отежињени улази и коефицијент пристрасности, та сума се даље трансформише активационом функцијом и ово представља излаз неурона. Активациона функција се користи како би ограничила излазне вредности неурона и како би се систему дало нелинеарно понашање.

Тренирање неуронске мреже се састоји у томе да се одреди оптималне вредности коефицијента тежина за сваки од неурона, тако да предвиђања мреже буду што ближе стварним вредностима. Пондерисање

тежина врши се помоћу алгоритма пропагирања грешке уназад (енгл. *back-propagation*).

Вештачке неуронске мреже имају способност да апроксимирају компликоване и нелинеарне односе међу подацима, међутим, да би успеле да науче ова понашања, потребни су велики обучавајући скупови података. Уз то, оне су „*black box*“ алгоритам, те није лако интерпретирати резултате ових система.

4. МЕТОДОЛОГИЈА

У овом поглављу биће представљен процес имплементације система за предвиђање дужине боравка паса и мачака у азилу за животиње.

Прво је вршена анализе и претпроцесирање скупа податка, како би се утврдило који су то атрибути који заправо утичу на исход и смањила димензионалност скупа података. Претпроцесирани подаци даље за тренирање класификационих модела.

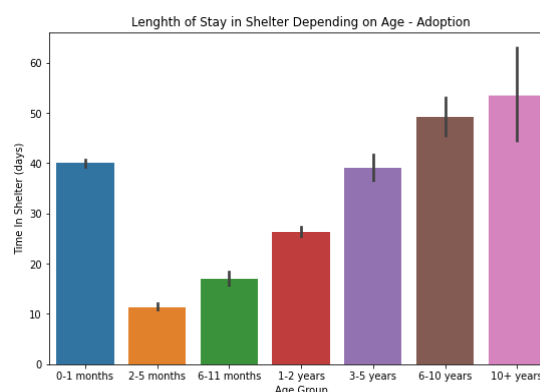
4.1. Експлоративна анализа и претпроцесирање

„*Austen Animal Center*“ скуп података је преузет са *Kaggle*-а [5]. Он садржи информације о животињама које су примљене и отпуштене из азила за животиње у периоду од 2013. до 2018. године. Скуп података има преко 79 хиљада редова описаних 41 атрибутом. Ови атрибути говорили су о старости животиње по уласку и изласку из азила и датуме, по који пут је примљена у азил и у ком стању, типу животиње, боји и раси, месту где је пронађена, да ли је стерилисана и на крају који је њен крајњи исход и колико дуго се задржала у азилу.

Велики број атрибута имао је поновљене информације које су већ садржане у другим атрибутима, те је било потребно избацити сувишне.

Како се преко 94 процента скупа односио на псе и мачке, остатак је избачен у даљем раду са подацима. Уз то, овај рад ће фокусирати само на животиње чији је исход био удомљавање.

Експлоративном анализом потврђено је да дужина боравка у азилу расте са старости животиње, али је постојало знатно одступање за мачиће и кучиће испод два месеца старости. Ово се може објаснити чињеницом да су животиње у том узрасту и даље сувише младе за удомљавање. У складу, пси и мачке су на основу старости категорисани у групе (слика 1).



Слика 1 Боравак у зависности од старосне групе

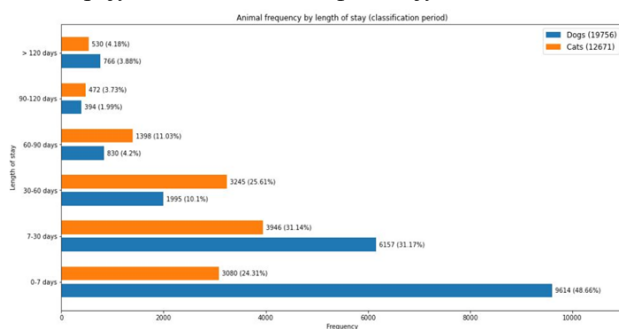
Такође је уочена значајна разлика у броју прихваћених животиња у различитим месецима. Ова разлика нарочито је упадљива код мачака и претпоставка је да то повезано са већим бројем новорођених мачића у периоду април-јун. Ово прати и повећан број усвајања мачака са умереним врхунцем на месеце мај-јул, те ови атрибути могу бити од значаја код предикције усвајања.

Код мачака, обележја која садрже информације о раси и боји су због превеликог броја различитих вредности ручно мапирана на обележја о боји, шарам и дужини крзна са знатно мањим бројем вредности.

Скуп података о псима проширен је другим скупом података „Dog Breeds“ [6] који је скупу придодео информације о величини паса, као и неким општим карактерним особинама расе.

4.2. Припрема података за класификационе моделе

Обележје *time_in_shelter_days*, искоришћено је да дужине боравка групишу у следеће категорије: животиње које су у азилу остале од 0-7 дана, 7-30 дана, 30-60 дана, 60-90 дана, 90-120 дана и 120+ дана (слика 2). Овим је циљно обележје трансформисано у одговарајући облик за класификацију.



Слика 2 Заступљеност паса и мачака по класама

Како би се подаци из ових скупова података припремили за моделе машинског учења, неопходно је извршити нормализацију. За нумеричке податке употребљена је *Min-Max* нормализација, док је за категоријске коришћен *One Hot Encoding*.

За скуп мачака, изузетак је направљен за месец прихватања у азил, старосну групу и дужину длаке, који су нормализовани на више начина и потом међусобно упоређени. Први начин нормализације за сваки од наведених је помоћу *One Hot Encoding*-а, док ће алтернативни начини бити описани у наставку.

Како истраживања [7] показују да је цикличне податке попут временских одредница често корисно нормализовати помоћу вредности синуса и косинуса, ово употребљено као други начин нормализације месеца уласка у азил. Старост паса и мачака је додатно нормализована прво узимањем средње вредности старости групе, а друго додељивањем свакој групи, од најмлађе до најстарије, броја од 0 до 6, и у оба случаја додата бинарна колона *is_kitten*. Нумеричка вредност је затим нормализована коришћењем *Min-Max* нормализације.

И на крају, дужина длаке је додатно нормализована као нумеричке вредности 0, 0.5 и 1 за вредности *Shorthair*, *Medium Hair* и *Longhair*, ретроспективно.

Са слике 2 уочљиво је да класе нису једнако заступљене у коришћеном скупу податка. Обучавање класификационих модела на небалансираном скупу може за последицу имати лошије перформансе модела, те ће бити коришћен *SMOTE* алгоритам.

4.3. Предиктивни модели

Претпроцесирани подаци о мачкама и псима даље се користе за обучавање класификационих модела за предвиђање дужине боравка у азилу. Како је приликом експлоративне анализе утврђено да исти атрибути немају једнаку важност за усвајање паса и за усвајање мачака, за сваку врсту ће бити одвојено тренирани модели.

Прву групу класификатора представљају ансамбл модели стабала одлучивања. Овде су испробани следећи алгоритми: *Random Forest*, *Gradient Boosting* и *XGBoost*. Приликом тренирања ових модела подаци су подељени на тренинг и тест скупове, а затим је вршено обучавање модела. Хипер-параметри модела оптимизовани су путем поступка *Grid Search Stratified K Fold Cross Validation* ($k = 10$).

Други приступ јесте вештачка неуронска мрежа. Процес проналажења оптималне архитектуре и хипер-параметара одвијао итеративно, где је прво креиран веома једноставан модел, да би се затим он усложњавао до проналазак модела који даје најбоље резултате. Овакав модел добијен је са два потпуно повезана слоја од 64 и 32 неурона са *ReLU* активационом функцијом, где сваки слој има *dropout* од 0.5 и примењује *L2* регуларизацију, и излазним слојем од 6 неурона (број класа) са *softmax* активационом функцијом. Класа чији неурон има највећу активацију у излазном слоју узима се као резултат предикције.

Како су дубоке неуронске мреже због комплексности архитектуре склоне претренирању, при обучавању је праћена вредност функције грешке на валидационом скупу. Уколико би ова грешка да расла у три узастопне епохе, обучавање.

На скупу података о псима уочено да је заступљеност сваке наредне класе оквирно двоструко мања од претходне, што се може видети са слике 2. Ово је подстакло идеју да се тренира више модела за бинарну класификацију са релативно уравнотеженим класама. Први у низу модел треба да предвиди само да ли ће пас остати мање или више од 7 дана, следећи да ли ће остати 7-30 дана или више од 30 дана. Ова процедура се наставља до последњег модела који треба да предвиди да ли животиња остаје 90-120 дана или више од 120 дана. Као модели бинарне класификације коришћени су претходно описани ансамбл модели. Најбоље резултате овај приступ постигао је када је свих 5 подмодела било *Gradient Boosting* алгоритам са следећим вредностима хипер-параметара.

Скуп података подељен је на тренинг (80%), валидациони (10%) и тест (10%) скуп. Валидациони и тест скуп стратификовани, са циљем да одржи једнака заступљеност класа као у оригиналном скупу.

Финална евалуација је извршена над истим тест скупом за све приступе. За поређење су искоришћене

прецизност, одзив и F1 мера, где је највећи значај дат макро усредњеним вредностима ових мера.

5. РЕЗУЛТАТИ

Најбоље резултате при предвиђању дужине боравка паса у азилу досегао је *Random Forest* алгоритам без аугментације скупа податка (*macro avg. precision*: 0.63, *macro avg. recall*: 0.29, *macro avg. F1 score*: 0.3). Неуронска мрежа показала се као алгоритам са најнижом просечном прецизношћу због врло малог броја тренинг примерака најмање заступљених класа.. Просечна прецизност каскадног модела (0.45) боља је од неуронских мрежа, а лошија *Gradient Boosting* алгоритма (0.53 и 0.51).

Како је било више верзија скупова података за мачке, као најбољи показао се скуп података у коме су месец пристизања мачке у азил и дужина длаке *One Hot* кодирани, док је старосне групе мачака претворене нумеричке вредности од 0 до 6, од најмлађе до најстарије групе редом, и потом *Min-Max* нормализоване и додата колона *is_kitten*.

Над овим скупом најбоље резултате *Gradient Boosting* алгоритам без аугментације скупа податка (*macro avg. precision*: 0.71, *macro avg. recall*: 0.35, *macro avg. F1 score*: 0.37). Исту прецизност има и *Random Forest*, али има мању макро F1 меру и просечни одзив. Као и код предвиђања дужине боравка паса у азилу, неуронска мрежа се и у случају мачака показала као алгоритам са најмањом просечном прецизношћу, поново због јако малог броја тренинг примерака најмање заступљених класа.

За све моделе над којим је извршено SMOTE узорковање порастао је одзив, а опала прецизност.

Матрице конфузије резултата указују на то да примерци класе 7-30 дана и класе 30-60 дана најчешће бивају замењени, и за податке мачака и паса.

Због сличности приступа решавања и циљног обележја овог и истраживања [3], може се направити паралела између крајњих резултата ових радова. Иако аутори не користе исти скуп података, моделе обучавају над скупом података који обухвата псе и мачке истовремено и имају другачије класе (0-8, 8-42, 42-365 и 365+ дана) утврђено је да су добијени резултати релативно слични. И у овом раду најбоље се показао *Random Forest* алгоритам, код кога су просечни одзив и F1 мера бољи него код модела приказаних у овом раду, док је најбоља просечна прецизност 0.59 лошија од најбоље просечне прецизности за псе (0.63) као и за мачке (0.71) приказане у овом раду.

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је предложен систем за предвиђање дужине боравка паса и мачака у прихватилишту за животиње.

Са овим циљем анализиран је скуп података о удомљеним животињама из *Austin Animal Center* азила, додатно проширен подацима који садрже карактеристике паса. Након претпроцесирања података и одабира атрибута, креирани су одвојени модели за класификацију паса и мачака по дужини

боравка. Испробани су *Random Forest*, *Gradient Boosting*, *XGBoost*, и вештачка неуронска мрежа. За класификацију паса је креиран и каскадни модел бинарних класификација. Најбољи резултати за скуп података са псима постигнути су уз помоћ *Random Forest* алгоритма чија је просечна прецизност била 0.63, док за скуп података са мачкама највећу просечну прецизност од 0.71 има *Gradient Boosting*.

Примећено је да модели код обе врсте животиња примерке чија дужина боравка спада у групу 0-7 дана често мешају са примерцима чија дужина боравка спада у групу 7-30 дана и обрнуто. Развој система у будућности могао би се усмерити на идентификацију додатних предиктора који ће омогућити тачније раздвајање ове две групе. Проширивање скупа описом карактера животиње и њеном фотографијом, такође би повећали прецизност одређивања удомљивости. Када би се уз то укључили и подаци из више установа на различитим локацијама, могли би се пратити и различити трендови усвајања у зависности од локације, што би дало могућност релокације животиње у установе где би имале веће шансе за удомљавање.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] W.P. Brown, J.P. Davidson, M.E. Zuefle, „Effects of phenotypic characteristics on the length of stay of dogs at two no kill animal shelters“, *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 16(1), 2-18, 2013.
- [2] W.P. Brown, K.T. Morgan, „Age, breed designation, coat color, and coat pattern influenced the length of stay of cats at a no-kill shelter“. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 18(2), 169-180, 2015.
- [3] J. Bradley, S. Rajendran, „Increasing adoption rates at animal shelters: A two-phase approach to predict length of stay and optimal shelter allocation“, *BMC Veterinary Research*, 17, 1-16, 2021.
- [4] A. Zadeh, K. Combs, B. Burkey, J. Dop, K. Duffy, Nosoudi, „Pet analytics: Predicting adoption speed of pets from their online profiles“, *Expert Systems with Applications*, 204, 117596, 2022.
- [5] <https://www.kaggle.com/datasets/aaronchlegel/austin-animal-center-shelter-intakes-and-outcomes> (приступљено у новембру 2023)
- [6] <https://www.kaggle.com/datasets/yonkotoshiro/dogs-breeds> (приступљено у новембру 2023)
- [7] <https://towardsdatascience.com/ml-intro-5-one-hot-encoding-cyclic-representations-normalization-6f6e2f4ec001> (приступљено у новембру 2023)

Кратка биографија:



Ана Граховац рођена је у Новом Саду 1999. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Рачунарство и аутоматика – Интелигентни системи одбранила је 2023. године.

контакт: grahovac.ana99@gmail.com



CHATBOT У ОБЛАСТИ МЕДИЦИНЕ БАЗИРАН НА ЕНКОДЕР-ДЕКОДЕР АРХИТЕКТУРИ

MEDICAL CHATBOT BASED ON ENCODER-DECODER ARCHITECTURE

Теодора Маруна, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – Електротехника и рачунарство

Кратак садржај – Циљ рада јесте креирање конверзацијског chatbot-а који користи напредне алгоритме машинског учења и технике процесирања природног језика за давање дијагнозе или пружање препоруке за лечење, на основу симптома које пацијент наведе. У оквиру рада изнети су експериментални резултати који показују да су перформансе боље у случају када се chatbot обучава са скупом података у којем постоји алтернативно парафразирање питања и где за слична питања добија генерализоване, опште одговоре, а не одговоре који су врло уско специјализовани и персонализовани за наведено питање пацијента.

Кључне речи: chatbot, енкодер-декодер архитектура, механизам пажње, обрада природног језика

Abstract – The goal of this thesis is to create a conversational chatbot that utilizes advanced machine learning algorithms and NLP techniques to predict diagnosis or provide treatment recommendations based on the patient's symptoms. This paper presents experimental results that show that performances are better when the chatbot is trained with a data set in which there is an alternative paraphrasing of questions and where, for similar questions, it receives generalized answers rather than answers that are very narrowly specialized and personalized for the patient's stated question.

Keywords: chatbot, encoder-decoder architecture, attention mechanism, Natural Language Processing

1. УВОД

Опште здравствено стање сваке особе је један од главних фактора квалитетног живота. Како би лекар пружио неопходну помоћ пацијентима, он мора да издвоји одређено време, а време сваког лекара је ограничено и драгоцено. Међутим, шта се дешава када лекари, услед великог броја пацијената, немају довољно времена да пруже адекватан савет сваком појединцу. То доводи до идеје креирања chatbot-а који ће користити напредне алгоритме вештачке интелигенције да постави основну дијагнозу пацијента и да му пружи препоруке пре консултација

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Александар Ковачевић, ред. проф.

са лекаром. С обзиром да су рекурентни енкодер-декодер модели доминантни у области моделовања конверзацијских дијалог система, за имплементацију chatbot-а у овом раду, користи се модел секвенци (енг. Seq2Seq) [1], који поседује енкодер-декодер архитектуру и има имплементиран механизам пажње (енг. attention mechanism) између енкодер и декодер слоја.

Главни задатак овог рада је показати каква је разлика у резултатима када се користе другачије структурирани скупови података за обучавање модела и како ти подаци утичу на резултате. Како би се показала разлика до које доводе различито структурирани улазни подаци, у оквиру рада вршено је обучавање и упоређивање два модела који поседују исту архитектуру али су обучени на различитим скуповима података.

У оквиру рада изнете су вредности БЛЕУ (енг. BLEU – Bilingual Evaluation Understudy) [2] метрике које показују да су перформансе система боље у случају кад се chatbot обучава са скупом података у којем постоји алтернативно парафразирање питања и где за слична или иста питања добија генерализоване, опште одговоре, а не одговоре који су врло уско специјализовани и персонализовани за наведено питање пацијента.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ И ДЕФИНИЦИЈЕ

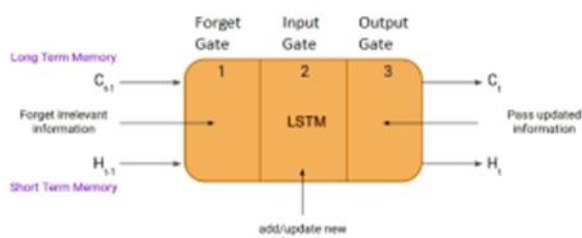
У овом сегменту је дато објашњење најбитнијих теоријских појмова и алгоритама који се користе за израду chatbot-а.

2.1 ЛСТМ неуронска мрежа

ЛСТМ (енг. LSTM – Long Short-Term Memory) [3] је суштински побољшана верзија класичне рекурентне неуронске мреже и способна је за тумачење дужих низова података. Најбитнија предност ЛСТМ је могућност дугорочног памћења секвенци.

ЛСТМ решава проблем нестајућег градијента коришћењем неколико капија које контролишу проток информација које пролазе кроз меморијску ћелију. ЛСТМ се састоји из интерног стања ћелије (енг. cell state), које представља дугорочну меморију, скривеног стања (енг. hidden state) које репрезентује краткотрајну меморију и 3 капије. Улазна капија утиче на одабир информација које се додају у стање ћелије. Капија за заборављање информација контролише које информације треба да се задрже у стању ћелије, а које треба да се забораве. Излазна капија контролише које

информације треба проследити на излаз стања ћелије. Свака капија представља сигмоидалну функцију која враћа вредности између 0 и 1, указујући на то колико информација треба пропустити кроз капију. Описана архитектура LSTM мреже приказана је на слици 1.



Слика 1. Архитектура LSTM неуронске мреже

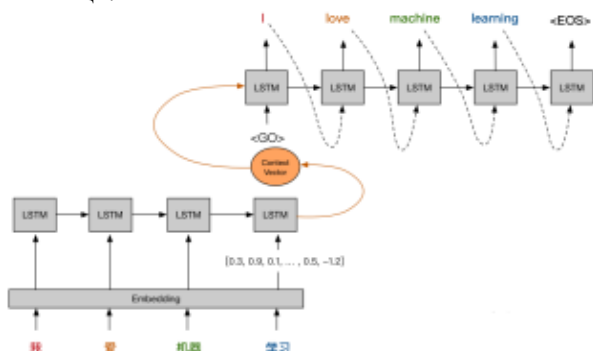
2.2 Модел секвенци

Ово је модел чија се архитектура састоји из две компоненте – енкодера и декодера. Енкодер и декодер су представљени као нека врсте рекурентне неуронске мреже, најчешће LSTM. Улазна секвенца енкодера и декодера се провлачи кроз embedding слој како би се смањила димензионалност улазних вектора.

Енкодер узима читаву реченицу и процесира је реч по реч, односно секвенцу по секвенцу. При обради сваке појединачне секвенце, енкодер поседује скривено стање и стање ћелије и генерише излазну вредност. Излазна секвенца енкодера се занемарује у овом облику енкодер-декодер архитектуре. Свако скривено стање тренутне секвенце утиче на скривено стање следеће секвенце, а крајње скривено стање се посматра као резиме целе реченице. Ово последње стање се зове контекст вектор (енг. context vector) и он енкапсулира информације улазних података и представља смисао целе улазне реченице.

Декодер као улаз прима контекст вектор генерисан од стране енкодера и користи га за генерисање излазне секвенце. Користећи овај вектор, декодер врши предикцију крајње излазне секвенце, реч по реч, где се сваки претходно предиктовани токен (из временског тренутка $t-1$) узима у обзир за генерисање наредног токена секвенце.

На основу разлике између предиктованог и правог (очекиваног) токена, рачуна се функција грешке и користи се алгоритам пропагације градијента уназад кроз време да би се ажурирали параметри модела. За креирање крајње излазне секвенце користи се softmax активациона функција. На слици 2. илустрована је енкодер-декодер архитектура, односно модел секвенци.



Слика 2. Енкодер-декодер архитектура

2.3 Механизам пажње у моделу секвенци

Енкодер-декодер архитектура функционише добро када су у питању краће реченице, односно краћи низови секвенци. У случају дужих реченица, може доћи до проблема при покушају екстракције контекста из секвенце. Зато се користи механизам пажње, који омогућава декодеру да приликом предикције излазне секвенце селективно обрађа пажњу на улазне секвенце (које су заправо излаз енкодера).

Модел се тренира тако да учи да обрађа селективну пажњу на излазе енкодера (који се у класичној енкодер-декодер архитектури занемарују) и да увиђа повезаности између њих и излазних секвенци. Ова врста механизма пажње се зове адитивни или Bahdanau механизам пажње и он добро функционише са дугачким секвенцама речи. Врши линеарну комбинацију стања енкодера и декодера.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

Систем се може поделити на два главна модула, модул задужен за претпроцесирање улазних података и модул задужен за генерисање одговора.

3.1 Модул за претпроцесирање података

У оквиру овог модула извршава се претпроцесирање улазне секвенце са циљем припреме и пречишћавања података који улазе у модул за генерисање одговора. Циљ овог модула је повећање квалитета улазних података.

Улаз у овај модул чине неколико скупова података, који представљају конверзације између пацијената и лекара.

Најпре се врши пречишћавање података тако да су прво уклоњени непотребни карактери, а затим су све речи пребачене на мала слова и уклоњени су знакови интерпункције.

Лематизација је следећи корак претпроцесирања и она се врши само над постављеним питањима пацијената, да се не би изгубило семантичко значење одговора и да би генерисан одговор био у формату природног језика, а не лематизован.

После се врши уклањање зауставних речи, да би се chatbot фокусирао на битне речи и њихов контекст.

Следећи корак је креирање речника. Услед великог обима речника, речник је сведен на речи које се понављају 3 или више пута.

Након тога, врши се токенизација у оквиру које долази до замене свих речи у оквиру питања пацијената и одговора лекара индексами тих речи из речника. Токенизација је неопходан корак јер улаз у неуронску мрежу мора да буде вектор (нумеричка вредност), а не низ карактера.

Поред тога, уведени су додатни токени. Токен <OUT> означава реч која се не налази у речнику. Токен <SOS> представља почетак реченице, док <EOS> токен означава крај реченице.

Текст који улази у декодер (одговора лекара) означен је токенима <SOS> и <EOS>. Токен <PAD> користи се за додавање токена секвенци тако да она буде жељене дужине.

Свим секвенцама које улазе у енкодер додато је онолико специјалних токена (<PAD>) тако да укупна дужина сваке секвенце буде једнака дужини најдуже секвенце која улази у енкодер. Аналогно је урађено и за секвенце које улазе у декодер слој.

За репрезентовање текста у векторском облику кориштен је GloVe embedding. Embedding је вектор који представља значење и контекст улазне речи. Резултат овог корака је скуп вектора који репрезентују улазну секвенцу.

После тога, долази до поделе скупа података на тренинг и тест скуп података, где је величина тест скупа 15%. Подела на тренинг и тест скуп је неопходна јер је потребно одвојити податке над којима се врши обучавање модела, од података над којим се врши тестирање модела.

3.2 Модул за генерисање одговора

Овај модул се састоји из модела секвенци, који је задужен за постављање дијагнозе пацијента на основу унетих симптома. Улаз у овај модул представља векторска репрезентација улазног текста описаних симптома корисника, а излаз је одговор, односно предикована дијагноза.

Модел секвенци поседује енкодер-декодер архитектуру, где оба слоја представљају неку врсту рекурентне неуронске мреже. Између енкодер и декодер слојева, имплементиран је механизам пажње, како би се на што ефикаснији начин увидео контекст улазне реченице.

Улаз у енкодер је секвенца коју желимо да енкодујемо, а излаз је енкодовано стање. Енкодер је задужен за трансформисање улазне секвенце у векторску репрезентацију фиксне дужине. Улаз у декодер представља енкодовано стање а излаз је декодирана секвенца.

При имплементацији енкодера, коришћен је бидирекциони LSTM. Енкодер генерише крајње стање – контекст вектор, он представља резиме целе реченице и он је улаз у декодер слој. Архитектура декодер слоја се састоји из LSTM мреже.

У последњем слоју неуронске мреже, налази се Dense слој са softmax активационом функцијом, који се користи за генерисање крајњег излаза из мреже.

4. СКУПОВИ ПОДАТАКА

Скупови података емулирају структуру реалне конверзације између лекара и пацијента, где пацијент најпре поставља питање, а лекар затим даје одговор. Над скуповима података извршене су одговарајуће технике претпроцесирања, како би се пречистили подаци и уклонили редувантни делови.

4.1 Скуп података MedDialog-EN

MedDialog-EN [4] је скуп податка са дијалозима, где се сваки дијалог се састоји од дела у коме пацијент објашњава своје здравствено стање и дела где лекар даје одговор. Подаци у оквиру овог скупа података су преузети са два сајта – iCliniq и HealthcareMagic, који представљају онлајн платформе за давање стручних медицинских савета.

С обзиром да су конверзације пацијената и лекара преузете са разних онлајн форума, код овог скупа података за слична или иста питања постоје различити одговори, јер је сваки одговор лекара специјално намењен проблему који је пацијент навео. Одговори су уско специјализовани за наведено питање пацијента и његове индивидуалне проблеме и не представљају уопштено решење за дату тематику питања.

4.2 Скуп података Intents

Intents [5] скуп података је оригинално био такав да се сваки пар питања-одговор састоји из 4-6 сличних питања и једног одговора лекара који одговара за сва наведена питања. Скуп података је обрађен тако да се структура подудара са структуром реалне конверзације, где се свака конверзација састоји из једног питања пацијента и адекватног одговора лекара.

Постоје две предности Intents скупа података у односу на MedDialog-EN. С обзиром да постоји алтернативно парафразирање питања, лакше је уочити намену постављеног питања, а самим тим је лакше генерисати адекватан одговор на постављено питање.

Поред тога, Intents скуп података је такав да за слична питања даје увек потпуно исти одговор. У Intents скупу података, одговори су генерализовани, уопштени, недвосмислени и тичу се било каквог проблема из исте области. Ипак, мана Intents скупа података јесте мали обим података.

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У овом поглављу представљени су резултати експеримената, поређењем конфигурација модела.

5.1 Резултати chatbot-а обученог над MedDialog-EN

У табели 1. налазе се резултати конфигурација chatbot-а обученог над MedDialog-EN скупом података. Mean bleu 1-gram представља просечну БЛЕУ вредност за униграме (појединачне речи). Loss представља вредност функције циља, а accuracy представља добијену тачност. У табелама се још налазе вредности validation loss и validation accuracy и оне представљају прецизност валидационог скупа података у последњој епохи и функцију циља валидационог скупа података у последњој епохи. На основу табеле, може се закључити да најбоље резултате за БЛЕУ вредност, функцију циља и прецизност има конфигурација 3.

Табела 1. Конфигурације chatbot-а, обученог над MedDialog-EN скупом података

	конфиг.1	конфиг.2	конфиг.3
број епоха	10	70	70
batch size	16	16	32
bleu 1-gram	0.124924	0.140363	0.141532
loss	0.9598	0.0496	0.0228
accuracy	0.7830	0.9850	0.9936
validation loss	1.9509	3.6006	3.3374
validation acc.	0.6867	0.6699	0.6702

5.2 Резултати chatbot-a обученог над Intents

У табели 2. налазе се резултати конфигурација chatbot-a обученог над Intents скупом података. Сва поља описана у претходном поглављу налазе се и у табели 2. На основу табеле 2, може се закључити да најбоље резултате за БЛЕУ вредност, функцију циља и прецизност chatbot-a обученог над Intents скупом података има конфигурација 1.

Табела 2. Конфигурације chatbot-a, обученог над Intents скупом података

	конфиг.1	конфиг.2	конфиг.3
број епоха	70	70	70
batch size	16	24	32
bleu 1-gram	0.688934	0.680912	0.676773
loss	0.0129	0.0321	0.0533
accuracy	0.9995	0.9987	0.9977
validation loss	0.0613	0.0916	0.1170
validation acc.	0.9830	0.9822	0.9801

5.3 Дискусија

Посматрајући БЛЕУ вредности из претходно споменутих табела, увиђа се знатна разлика у перформансама chatbot-a обученог над MedDialog-EN скупом података и chatbot-a обученог над Intents скупом података. Просечна БЛЕУ вредност 1-грама најбоље конфигурације chatbot-a обученог над MedDialog-EN скупом података износи само 0.141532, док најбоља просечна вредност 1-грама за Intents скуп података износи чак 0.688934. Разлог за нижу вредност БЛЕУ метрике chatbot-a обученог над MedDialog-EN скупом података је то што су питања пацијената али и одговори лекара врло индивидуализовани и јако специјализовани за наведени проблем пацијента. У MedDialog-EN скупу података, лекар у свом одговору често показује емпатију према пацијенту, пружа наду и утеху, али због тога, врло је захтевно извршити сумаризацију у којој остаје суштина одговора. Поред тога, постоје парови питање-одговор који поседују иста питања али другачије одговоре. Неуронској мрежи се на тај начин, за иста питања, доводе различити одговори, а то доприноси неконзистентности при обучавању.

С друге стране, Intents скуп података поседује питања и одговоре који су генерализовани. Алтернативно парафразирање питања омогућава да се за слична питања, на мрежу доводи исти одговор. Због тога, конфигурације chatbot-a које за обучавање користе Intents скуп података, дају знатно боље резултате.

6. ЗАКЉУЧАК

Модерни chatbot-ови, специјализовани у области медицине имају потенцијал за побољшање комуникације између доктора и пацијената. Chatbot може да спроводи брзо и једноставно анкете, комуницира користећи медицинске термине, заказује прегледе и контроле код специјалиста, прикупља и анализира податке пацијената и спрам тога даје дијагнозе или потенцијалне препоруке за лечење.

У овом раду је предложен chatbot, имплементиран помоћу модела секвенци са механизмом пажње,

развијен са циљем пружања помоћи пацијентима пре посете лекара. Креирани chatbot би имао велики допринос у здравственом систему, јер би био доступан 24 сата дневно, 7 дана недељно, што би пацијентима омогућило брз али пре свега сигуран извор информација и савета у вези са њиховим здравственим проблемима. Постојање chatbot-a може побољшати приступ здравственој нези, смањити оптерећеност медицинског особља и омогућити брзу и ефикаснију комуникацију са пацијентима, посебно у хитним ситуацијама. Ипак, овакав систем нема као циљ замену медицинског особља и стручних дијагноза, него представља алат за повећање њихове ефикасности. За озбиљне медицинске дијагнозе потребно је консултовати стручњака из одређене области, зависно од врсте проблема.

У оквиру рада изнете су вредности БЛЕУ метрике које показују да су перформансе боље у случају када се chatbot обучава са скупом података у којем постоји алтернативно парафразирање питања и где за слична питања добија генерализоване и опште одговоре, а не одговоре који су врло уско специјализовани и персонализовани за наведено питање пацијента.

Међутим, главни проблем при имплементацији овог система је недостатак адекватног скупа података. Како би chatbot могао да даје тачне дијагнозе и препоруке за лечење, потребно је обучити систем на још већем скупу података. Ипак, најбитнији је квалитет и природа скупа података. Питања и одговори треба да буду што концизнији, прецизнији и да су фокусирани на суштину проблема. Постојање таквог скупа података, који је адекватног обима и чији подаци задовољавају очекиване критеријуме, додатно би поправило перформансе система.

Један правац будућег развоја је могућност памћења конверзације и генерисање одговора на основу целокупне посматране историје разговора. Памћење конверзације омогућава квалитетнију дијагнозу јер се сагледа целокупна слика проблема пацијента.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sutskever, O. Vinyals, and Q. V. Le, "Sequence to Sequence Learning with Neural Networks".
- [2] P. F. Brown et al., "A STATISTICAL APPROACH TO MACHINE TRANSLATION," vol. 16, no. 2, 1990.
- [3] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory," Neural Comput., vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997, doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735
- [4] X. He et al., "MedDialog: Two Large-scale Medical Dialogue Datasets." arXiv, Jul. 07, 2020. doi: <http://arxiv.org/abs/2004.03329>
- [5] <https://www.kaggle.com/datasets/tusharkhete/dataset-for-medicalrelatedchatbots>

Кратка биографија:



Теодора Маруна рођена је у Новом Саду 1999. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства одбранила је 2023. године.
контакт: teodora.maruna@gmail.com

**PLATFORMA ZA KONTROLU VERZIJA I SARADNJU ZASNOVANA NA AWS
USLUGAMA****VERSION CONTROL AND COLLABORATION PLATFORM BASED ON AWS
SERVICES**

Albert Makan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu opisana je implementacija i specifikacija arhitekture platforme za kontrolu verzija i saradnju koja je postavljena na AWS.

Ključne reči: Kontrola verzija, Node.js, Next.js, Docker, AWS, Git server, MongoDB

Abstract – This paper describes the implementation and specification of the architecture of a version control and collaboration platform that is deployed on AWS.

Keywords: Version control, Node.js, Next.js, Docker, AWS, Git server, MongoDB

1. UVOD

U eri brzog razvoja softverskih rešenja, efikasno upravljanje verzijama softvera postaje kritičan deo procesa razvoja. Ovaj rad detaljno istražuje implementaciju sistema za kontrolu verzija i saradnju, koji je zasnovan na AWS platformi. Rad ima za cilj da prikaže praktičnu primenu specifičnih tehnologija i arhitekture, i kako se ovi alati koriste da bi se postigli konkretni funkcionalni ciljevi sistema.

Primarni korisnici sistema su programeri, ali i drugi koji učestvuju u isporuci softverskog rešenja. Registracija na sistem i prijava su preduslov korisniku za korišćenje svih funkcionalnosti koje nudi aplikacija. Korisnici mogu da kreiraju, pregledaju i upravljaju repozitorijumima za svoje projekte. Repozitorijum može da bude javni ili privatni.

Platforma omogućuje korisnicima da prate promene u kodu, kreiraju grane za razvoj, izvrše spajanje (*merge*) promena iz različitih grana i imaju uvid u prethodne verzije projekta. Korisnik može otvoriti zahtev spajanja (*pull request*) kako bi predstavili svoje promene, a ostali saradnici na repozitorijumu mogu pregledati, komentarisati i prihvatiti te promene.

Korisnici mogu da kreiraju, dodeljuju i prate zadatke (*issues*), greške i druge probleme povezane sa projektima i da postavljaju ciljeve i rokove za svoje projekte. Svaki cilj se definiše kao "*milestone*" i može se koristiti za grupisanje zadataka.

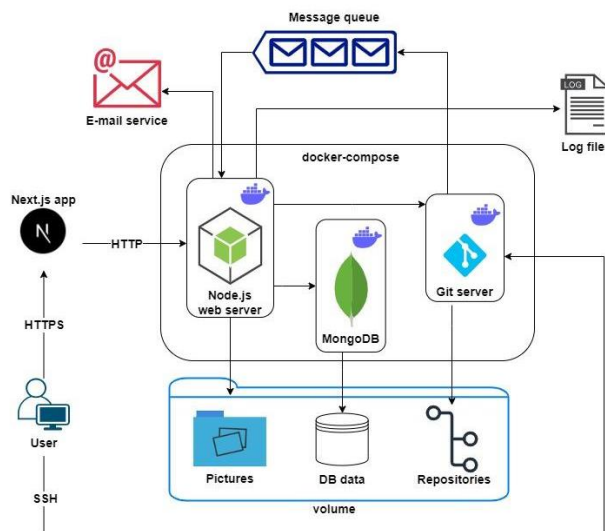
Korisnici imaju uvid u razne statistike i grafikone u vezi sa repozitorijumom, kao što su broj predatih izmena koda

(engl. *commit*), broj dodatih i obrisanih linija koda tokom vremena, i po saradniku.

Korisnici mogu označiti zvezdom (engl. *star*) repozitorijume koji su im interesantni ili korisni i mogu kopirati (engl. *fork*) repozitorijume drugih korisnika.

2. SPECIFIKACIJA SISTEMA

Šema arhitekture sistema je prikazana na slici 1. Serverska i klijentska strana su razvijeni kao odvojene aplikacije. Za funkcionisanje sistema neophodno je da serverska aplikacija komunicira sa bazom podataka i sa git serverom. Git server šalje podatke o novim komitovima preko reda poruke. Korisnik pristupa aplikaciji kroz klijentsku stranu i komunicira sa git serverom putem SSH protokola.



Slika 1. Šema arhitekture sistema

Osnovni entiteti sistema su User (korisnik), Repository (repozitorijum), Issue (zadatak), PullRequest (zahtev za povlačenje), Milestone (etapa), Label (labela). Star (zvezda) i Collaborator (saradnik) su entiteti veze između repozitorijuma i korisnika.

Događaji u sistemu su modelovani po principima *Event Sourcing*-a koji spada u *Domain Driven Design* šablone. Svaka akcija korisnika se modeluje kao događaj. Događaji su nepromenjivi i predstavljaju jedini izvor istine. Issue-i i Pull Request-ovi su koreni agregata (*Aggregate Roots*), promena njihovog stanja je podstaknuta događajem. Sami događaji ne određuju kako će biti obrađeni; ta odgovornost leži kod agregata kojima

NAPOMENA:

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

pripadaju. Još jedna bitna karakteristika agregata je sposobnost rekonstrukcije trenutnog stanja na osnovu događaja. Svaki događaj nasleđuje *BaseEvent* klasu.

3. IMPLEMENTACIJA

U ovom delu je predstavljena implementacija svakog dela aplikacije, odnosno opisani su potrebni koraci za integraciju AWS servisa. Pri implementaciji aplikacija je razdvojena na tri dela: na serversku stranu, git server, i klijentsku stranu.

3.1. Serverska strana

Serverska strana aplikacije je realizovana preko *TypeScript* programskog jezika i *Node.js* okruženja. Za skladištenje podataka korišćena je *Mongo* baza podataka.

Typescript [1] je programski jezik koji proširuje *JavaScript* dodajući mu statičku tipizaciju, omogućavajući programerima da otkriju i isprave greške već tokom faze razvoja. To čini serversku stranu aplikacije sigurnijom i lakšom za održavanje. *Node.js* [2] je izvršno okruženje koje omogućava izradu serverskih aplikacija u *JavaScript*-u. Njegova asinhrona arhitektura omogućava efikasno upravljanje istovremenim zahtevima, poboljšavajući performanse serverske strane.

MongoDB [3] je baza podataka orijentisana prema dokumentima koja koristi *BSON* (*Binary JSON*) dokumente za skladištenje podataka. Fleksibilnost ovog *NoSQL* pristupa olakšava rad sa promenljivim i kompleksnim podacima.

Kod aplikacije organizovan je po funkcionalnostima (*features*), gde svaka funkcionalnost sadrži svoje modele, repozitorijume, servise i rute. Ovakav pristup olakšava razdvajanje odgovornosti i čini kod manje izmešanim. U okviru ove organizacije, svaka funkcionalnost ima svoj sopstveni direktorijum u okviru aplikacije. Svaka funkcionalnost ima svoj model koji definiše strukturu podataka ili objekata povezanih sa tom funkcionalnošću. Repozitorijum služi za interakciju sa bazom podataka, korišćenjem "*mongodb*" biblioteke. Servis sadrži poslovnu logiku povezanu sa određenom funkcionalnošću. Svaki *feature* ima svoje definisane rute koje određuju kako će aplikacija odgovarati na različite *HTTP* zahteve.

U glavnom fajlu sve rute koje podržavaju različite funkcionalnosti se povezuju zajedno. Ovde su dodate odgovarajuće *midlver* funkcije, kao što su *authorize*, *findRepository* i *errorHandler*, i pokreće se *express* aplikacija.

3.2. Git server

Git server pruža centralizovano skladište za Git repozitorijume i omogućuje korisnicima da kloniraju, izmenjuju i sinhronizuju svoj kod sa drugima. Git server je organizovan kroz *Node.js* aplikaciju, *SSH* servera i *Linux* fajl sistema i smešten u *Docker* [4] kontejner.

Fajl sistem gde se čuvaju repozitorijumi organizovan je na sledeći način: u direktorijumu *"/home"*, korenskom direktorijumu za sve korisnike, svaki korisnik ima svoj poddirektorijum sa svojim repozitorijumima. Fajl *"/ssh/authorized_keys"* sadrži javne *SSH* ključeve korisnika za autentifikaciju bez lozinke. Korisnički direktorijumi sadrže repozitorijume, svaki sa *"/.git"* folderom,

"/collaborators.txt" fajlom sa spiskom saradnika, i *"/public"* fajlom koji označava javni repozitorijum. Kreirani su *Linux* korisnici za svakog korisnika i grupe za svaki repozitorijum sa pravima pristupa. Vlasnik i grupa imaju pun pristup, dok ostali imaju pristup čitanja samo ako je repozitorijum javni.

Ključna komponenta git servera je *API* koji je implementiran kao *Node.js express* aplikacija. Ovaj *API* pruža krajnje tačke koje pozivaju odgovarajuće funkcije koje izvršavaju git i linux komande nad repozitorijumima. Aplikacija sadrži funkcije za kreiranje i brisanje repozitorijuma, za dobavljanje *commit*, *tree* i *blob* objekata, za rad sa granama i tagovima, za spajanje grana i dodavanje korisnika i kolaboratora. *API* nema mehanizam za autorizaciju korisnika, zato svaki zahtev ide kroz serversku stranu.

Pristup udaljenim Git repozitorijumima putem operacija poput *clone*, *pull* i *push* je moguć samo putem *SSH* protokola. Git koristi *SSH* za autentikaciju korisnika prilikom operacija prema udaljenom repozitorijumu, koristeći *SSH* ključeve. Javni ključ se čuva na serveru, a privatni na lokalnom računaru. Pokretanje *SSH* procesa na Git serveru se postiže korišćenjem *sshd* (*OpenSSH Daemon*). Za autentikaciju i pristup udaljenom Git repozitorijumu pomoću *SSH* ključeva, potrebno je generisati *SSH* ključ na lokalnom računaru, konfigurisati *SSH* agenta, dodati privatni ključ u agenta, i postaviti javni ključ na server putem klijentske aplikacije.

Git omogućava da se pozovu proizvoljno napisane skripte kada se dogode određene važne akcije. Postoje dve grupe ovih „hvataljki“ za događaje (engl. *hooks*) [5]: one na klijentskoj i one na serverskoj strani. Čuvaju se u *"/.git/hooks"* direktorijumu. Git *post-receive* je skripta koji se izvršava nakon što se Git repozitorijum na udaljenom serveru uspešno ažurira. U ovoj aplikaciji *post-receive* se koristi za slanje podataka o novim komitovima na red poruka. Serverska strana će pročitati te podatke sa reda, proveriti da li se referencira neki *issue* u komit poruci, i dodati *IssueReferencedEvent* događaj ako jeste.

Git server, kao i serverska strana smešten je u *Docker* kontejner da bismo obezbedili izolaciju aplikacije od ostatka sistema. Ovo sprečava potencijalne konflikte i probleme sa resursima. Kontejneri se lako mogu kreirati i uništiti, što olakšava reprodukciju i skaliranje Git servera prema potrebama. Kontejneri omogućavaju pakovanje svih zavisnosti koje Git server zahteva, uključujući operativni sistem, Git softver, *OpenSSH*, i konfiguracije što pojednostavljuje upravljanje. Za postizanje ove svrhe, koristi se *Dockerfile* koji definiše kontejner oko Git servera.

3.3. Klijentska strana

Klijentsku stranu čini *Next.js* aplikacija. Za korisnički interfejs su korišćeni *Tailwind CSS*, *Headless UI* i *Heroicons*.

Next.js [6] radni okvir za razvoj web aplikacija zasnovanih na React biblioteci. *Next.js* dolazi sa jednostavnim i konvencijama vođenim sistemom rutiranja, što olakšava definisanje ruta i navigaciju između stranica. Omogućava brzo učitavanje promena u realnom vremenu tokom razvoja aplikacije bez potrebe za osvežavanjem stranice.

Tailwind CSS [7] je CSS radni okvir koji koristi jednostavne klase za stilizovanje *HTML*-a. Ova fleksibilnost i prilagodljivost omogućava brži i efikasniji razvoj klijentske strane.

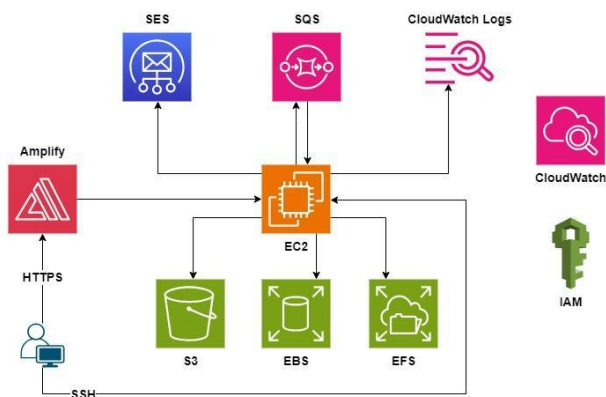
Za upravljanje podacima i stanjem aplikacije koristi se *React Query*, što omogućava jednostavno dohvaćanje i keširanje podataka sa serverske strane, čineći aplikaciju bržom i efikasnijom. Takođe, *Context API* se koristi za globalno upravljanje stanjem i deljenje podataka između komponenti.

Kod aplikacije organizovan je u tri foldera: *core*, *features* i *pages*. Folder sa nazivom *core* sadrži osnovne komponente i funkcionalnosti koje su zajedničke za čitavu aplikaciju. U folderu sa nazivom *features* komponente su grupisane po funkcionalnostima. Svaki podfolder za određenu funkcionalnost sadrži komponente specifične za tu funkcionalnost (stranice, kartice, tabele, forme...), tipove podataka i funkcije koje komuniciraju sa serverskom stranom putem *axios* zahteva. Folder pod nazivom *pages* služi za čuvanje *Next.js* stranica. Svaka datoteka unutar ovog foldera predstavlja jednu rutu u aplikaciji.

3.3. AWS

Amazon Web Services (AWS) [8] je vodeći i široko korišćen *cloud computing* servis i platforma koju nudi kompanija *Amazon*. AWS pruža obimne i raznolike servise za računarstvo u oblaku, čime omogućava organizacijama i pojedincima da iznajme računarske resurse, skladišta podataka i različite servise putem Interneta.

Na slici 2 je prikazana struktura integrisanih servisa AWS platforme pri realizaciji aplikacije.



Slika 2. Arhitektura integrisanih AWS servisa

Serverska strana zajedno sa *Mongo* bazom podataka i *Git* serverom hostovana je na *Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)* instanci, dok je klijentska strana smeštena na *Amazon Amplify Hosting* platformi. Skladišta podataka *EC2* instance čini *Amazon Elastic Block Storage (EBS)* i *Amazon Elastic File System (EFS)*. Koristeći *AWS Software Development Kit (SDK)* verzije 3 za *JavaScript* [9], server ostvaruje komunikaciju sa *Amazon Simple Storage Service (S3)* za skladištenje i dobavljanje slika korisnika, sa *Amazon Simple Email Service (SES)* za slanje imejl obaveštenja korisnicima, sa *Amazon Simple Queue Service (SQS)* za upravljanju redom poruka i sa *Amazon CloudWatch Logs* za praćenje i upravljanje

logovima sistema. Aplikacija upravlja pravima pristupa koristeći *Amazon Identity and Access Management (IAM)* korisnika, što obezbeđuje strogu kontrolu nad pristupom *AWS* resursima. *Amazon CloudWatch* nadgleda i beleži performanse, aktivnosti i razne metrike svakog od *AWS* servisa u sistemu.

EC2 instanca kreirana je na *Ubuntu t3.micro* tipu sa *VPC* okruženjem, sigurnosnom grupom, *EBS* diskom i *EFS* fajl sistemom. Nakon pokretanja, pristup instanci se ostvaruje putem *SSH* klijenta. *AWS CodeDeploy* agent i *Docker* i *Docker Compose* se instaliraju, pripremajući instancu za automatsko postavljanje aplikacije i kontejnerizaciju.

IAM uloga je povezana sa *EC2* instancom, omogućavajući serverskoj strani upotrebu *AWS* servisa (*S3*, *SES*, *SQS*, *CloudWatch Logs*) bez prosleđivanja pristupnih ključeva u samoj aplikaciji. Ova praksa povećava sigurnost i pojednostavljuje upravljanje permisijama.

S3 se koristi u sistemu u dva slučaja sa kreiranjem dva bucket-a. Bucket "*siithub-images*" čuva slike korisnika, dok *CodePipeline* servis koristi drugi bucket za skladištenje koda aplikacije. Serverska strana koristi "*@aws-sdk/client-s3*" biblioteku za komunikaciju sa *S3* servisom, a "*multer*" i "*multer-s3*" za upload slika. Bucket-i nisu javno dostupni preko *URL*-a.

SES se koristi za slanje pozivnica za saradnju na repozitorijumu putem imejla. Korisnici, nakon registracije na aplikaciju, dobijaju mejl pod nazivom "*Amazon Web Services – Email Address Verification Request*" sa linkom za verifikaciju svoje imejl adrese. Ovaj proces osigurava validnost imejl adrese, povećavajući bezbednost i pouzdanost komunikacije putem imejla. Pozivnice za saradnju šalju se koristeći prethodno kreirani šablon "*Collaborator Invitation*". Serverska strana koristi "*@aws-sdk/client-ses*" biblioteku za komunikaciju sa *SES* servisom.

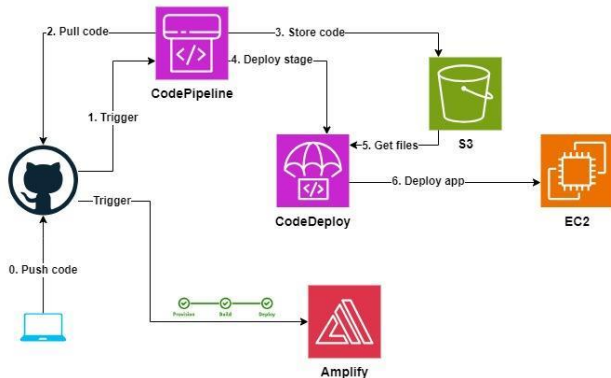
SQS se koristi za efikasnu obradu poruka o novim komitovima u sistemu. Nakon izvršavanja *post-receive* „hvatača događaja“ na *Git* serveru, skripta aktivira slanje poruka o novim komitovima na *SQS* red. Serverska aplikacija je konfigurisana da konzumira, čita, obrađuje i briše poruke sa *SQS* reda. *Git* server i serverska strana komuniciraju sa *SQS* servisom koristeći "*@aws-sdk/client-sqs*" biblioteku, dok se za konzumiranje poruka koristi "*sqs-consumer*" biblioteka. *Consumer* instanca je pokrenuta prilikom startovanja *express* aplikacije.

CloudWatch Logs koristi se za efikasno praćenje i čuvanje aplikacionih logova u sistemu sa dve kreirane log grupe. Grupa "*siithub-logs*" čuva logove serverske strane aplikacije, dok druga log grupa dolazi od *Amplify* servisa. Logiranje na serverskoj strani koristi "*winston*" i "*winston-cloudwatch*" biblioteke za kreiranje i slanje logova u *CloudWatch Logs*. Svaki dan se kreira novi log tok (engl. *stream*), olakšavajući pristup i pregled logova po datumu. Strukturirane log poruke omogućavaju jednostavno pretraživanje i analizu informacija.

4. CI/CD

U ovom delu opisan je način kako se *GitHub*, centralno mesto za upravljanje izvornim kodom, povezuje sa *AWS* servisima kako bi se omogućila glatka interakcija i

isporuka promena. Na slici 3 prikazana je šema interakcije između *GitHub* repozitorijuma, *AWS CodePipeline*, *CodeDeploy*, *Amazon S3* skladišta, *Amazon EC2* servera i *AWS Amplify Hosting* platforme. Cilj je jasan: kada se desi promena na glavnoj (*master*) grani repozitorijuma, automatizovani *CI/CD* proces će osigurati da se kod automatski isporuči na *EC2* i *Amplify Hosting* platformu.



Slika 3. Interakcija između *GitHub*-a i *AWS* servisa

Za postavljanje i pokretanje serverske strane aplikacije na *EC2* instanci, koristi se *Docker Compose*, *appspec.yml* i odgovarajuće skripte. U *docker-compose.yml* su definisana tri servisa (*siithub-git-server*, *mongo*, *siithub-backend*) i jedna mreža (*application*) za povezivanje. Volumeni koriste povezani *Elastic File System (EFS)* za deljenje podataka između kontejnera i instanci. *appspec.yml* [10] definiše korake postavljanja i pokretanja aplikacije na *EC2* instanci. Različite faze (*hooks*) kao što su *ApplicationStop*, *BeforeInstall*, *AfterInstall*, *ApplicationStart* imaju specifične skripte ili komande, u ovom slučaju *ApplicationStop* izvršava "*docker-compose down*", *BeforeInstall* osigurava da postoji folder za instalaciju, *AfterInstall* izvršava "*docker-compose build*" i "*docker image prune -f*", a *ApplicationStart* izvršava "*docker-compose up -d*". Ovaj *appspec.yml* fajl treba smestiti u korenski direktorijum repozitorijuma.

CodeDeploy konfiguracija uključuje kreiranje aplikacije i *deployment* grupe, dok *CodePipeline* konfiguracija podrazumeva kreiranje jednog *pipeline*-a. U *CodePipeline*, odabiremo *GitHub* kao izvor koda, povezujemo se sa *GitHub* nalogom, biramo repozitorijum i granu. Faza izgradnje se preskače, direktno isporučujući izvorni kod na *AWS* infrastrukturu. Zatim konfiguriramo fazu isporuke, odabirući *CodeDeploy* aplikaciju i *deployment* grupu za isporuku.

Za postavljanje klijentskog dela aplikacije na *AWS Amplify*, prvo je potrebno konfigurisati *amplify.yml* fajl kako bi se definisali koraci za izgradnju i isporuku. Ovaj fajl je potrebno smestiti u korenski direktorijum repozitorijuma. Nakon toga, potrebno je integrisati *Amplify* sa *GitHub* repozitorijumom kako bi automatski pratili promene u kodu. *Amplify* ima sposobnost da detektuje da je aplikacija izgrađena pomoću *Next.js* okvira, što omogućava pravilnu konfiguraciju tokom postupka isporuke.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavio je implementaciju sistema za kontrolu verzija i saradnju zasnovanog na *AWS* platformi. Kroz detaljan pregled serverske i klijentske strane i git servera, kao i procesa kontinuirane integracije i isporuke, sistem je predstavljen kao moćan alat za efikasno upravljanje verzijama i olakšavanje saradnje unutar timova.

Dalji razvoj ovog sistema bi trebao uključiti izdvajanje autentifikacije u *AWS Cogito* za bolju upravljivost identiteta korisnika. Pored toga, unapređenje infrastrukture kroz korišćenje alata poput *AWS CDK* i *CloudFormation*-a bi značajno unapredilo upravljanje resursima i automatsko održavanje infrastrukture. Osim toga, prebacivanje sa *MongoDB* unutar kontejnera na potpuno upravljano rešenje na *AWS*-u obezbediće unapređene performanse, skalabilnost i upravljanje podacima.

U zaključku, ova platforma za kontrolu verzija i saradnju zasnovana na *AWS*-u je postavljena kao efikasan alat za upravljanje projektima i saradnju. Mogući dalji razvoj sistema, posebno u vezi sa skalabilnošću i infrastrukturom, može znatno unaprediti njegove performanse i upotrebnu vrednost, čineći ga još efikasnijim i konkurentnijim rešenjem.

6. LITERATURA

- [1] TypeScript - <https://www.typescriptlang.org/>
- [2] Node.js - <https://nodejs.org/en/about>
- [3] MongoDB - <https://www.mongodb.com/>
- [4] Docker - <https://www.docker.com/resources/what-container/>
- [5] Git Hooks - <https://git-scm.com/book/en/v2/Customizing-Git-Git-Hooks>
- [6] Next.js - <https://nextjs.org/>
- [7] Tailwind CSS - <https://tailwindcss.com/>
- [8] What is AWS - <https://aws.amazon.com/what-is-aws>
- [9] AWS SDK for JavaScript v3 - <https://docs.aws.amazon.com/AWSJavaScriptSDK/v3/latest/introduction/>
- [10] CodeDeploy AppSpec file reference - <https://docs.aws.amazon.com/codedeploy/latest/userguide/reference-appspec-file.html>

Kratka biografija:



Albert Makan rođen je u Zrenjaninu 1999. godine. Godine 2018 upisao je Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije. 2022. godine diplomirao je na osnovnim studijama i upisao master studije na istom smeru.
kontakt: makanalbert@gmail.com

**ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПОЈАЧАНОГ ОДРЖАВАЊА ДРЖАВНОГ ПУТА IB 22
Деоница: РАШКА (КОСОВСКА МИТРОВИЦА) – НОВИ ПАЗАР (БАЊА)****ECONOMIC ANALYSIS FOR HEAVY MAINTENANCE OF THE STATE ROAD IB 22
Section: RAŠKA (K. MITROVICA) - NOVI PAZAR (BANJA)**Наталија Глишић, Милош Шешлија, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област - ГРАЂЕВИНАРСТВО**

Кратак садржај – У раду је приказана економска анализа појачаног одржавања државног пута IB 22 урађена помоћу модела HDM-4. Овај модел израчунава дисконтоване токове чистих користи (уштеда) током периода анализе. Економска анализа је спроведена за сваки хомогени потез као и кумулативно за целу деоницу. Период експлоатације, за који је спроведена економска анализа рехабилитоване деонице пута је 10 година а укупан период анализе обухвата 13 година.

Кључне речи: Економска анализа, појачано одржавање путева

Abstract – The paper presents an economic analysis of enhanced maintenance of state road IB 22, performed using the HDM-4 model. This model calculates discounted flows of net benefits (savings) over the analysis period. The economic analysis was carried out for each homogenous section as well as cumulatively for the entire section. The period of exploitation, for which the economic analysis of the rehabilitated road section was carried out, is 10 years, and the total period of analysis includes 13 years.

Key words: Economic analysis, heavy maintenance, road rehabilitation - upgrading

1. УВОД

Према програму мастер рада рехабилитације путева и унапређења безбедности саобраћаја (Road Rehabilitation and Safety Project – RRSP) потребно је урадити појачано одржавање државног пута IB 22 на деоници: Рашка (Косовска Митровица) – Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини деонице предвиђене за појачано одржавање од 17.974 км.

Очекиване користи реализације овог мастер рада су:

- омогућити ефикасније одвијање локалног и транзитног саобраћаја,
- смањење оперативних трошкова возила,
- смањење времена путовања кроз повећање оперативних брзина возила.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Милош Шешлија.

Локација

Предметна деоница од Рашке до Новог Пазара се налази у Рашком управном округу на путном правцу IB 22 и представља део путног правца од кружног тока у Рашкој до „Бањске петље“ у Новом Пазару, од чвора 2229 до чвора 2231. Један део деонице је положен у општини Рашка, а други у општини Нови Пазар.

Према категоризацији предметна деоница припада државном путу IB реда 22 Београд - Љиг - Горњи Милановац - Прељина - Краљево - Рашка - Нови Пазар - Рибариће - државна граница са Црном Гором (гранични прелаз Шпиљани).

Предметна деоница се целом дужином третира као деоница пута ван насеља са свим припадајућим карактеристикама.



Слика 1. Извод из Карте референтног система државних путева, децембар 2015

2. ПРИМЕЊЕНА МЕТОДОЛОГИЈА**2.1. Техничко – економска анализа пројекта**

Техничко-економска анализа оправданости појачаног одржавања државног пута IB 22 на деоници: Рашка (Косовска Митровица) – Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини од 17.974 км, је спроведена помоћу HDM-4 модела (Highway Development Management Model, v2.10). Коришћен је поступак пројектне анализе на нивоу пројекта (project analyses by project).

Након опште анализе целе разматране деонице извршена је подела на хомогене потезе. Сваки изабрани хомогени потез је посебно је обрађен и анализиран.

Цела анализирана деоница је подељена на хомогене потезе према:

- саобраћајном оптерећењу,
- доминатној геометрији пута,
- утврђеној структури коловозне конструкције,

- утврђеном стању коловозне конструкције, и
- предвиђеним радовима на појачаном одржавању.

2.2. Калибрација модела HDM-4 за примену у локалним условима

За потребе адекватне примене HDM-4 модела извршено је прилагођавање HDM-4 модела за примену у локалним условима који су карактеристични за Републику Србију.

У изради економске анализе и калибрације HDM-4 модела за примену у локалним условима коришћени су подаци из Пројектног задатка за израду Економске анализе (ЈППС, октобар 2016.) и препоруке и резултати истраживања на путној мрежи Републике Србије која су спроведена за потребе реализације пројекта базе података о путевима (JV CPV-Nievelt, 2010.).

3. ОПИС ПРОЈЕКТА – КАРАКТЕРИСТИКЕ ДЕОНИЦЕ

3.1. Геометријски елементи плана и профила

3.1.1. Попречни профил

Пројектним решењем задржана је постојећа ширина коловоза. Постојећа просечна основна ширина коловоза без проширења износи 7.00 m, док су ивичне траке ширине 35 cm. Банкина је хумузирана са ширином од 1.25 m. С обзиром да је реч о државном путу IB реда, задржан је у потпуно постојећи нормални попречни профил (НПП) са следећим димензијама:

Ширина коловоза попречног профила:

Возна трака $2 \times 3.50 = 7.00m$

Ивична трака $2 \times 0.35 = 0.70m$

Укупно: 7.70m

3.1.2. Возно-динамичке карактеристике пута

За предметну деоницу урађена је возно динамичка анализа на основу осовине пута дефинисане према топографско-катастарској подлози и подужног профила дефинисаног према постојећем стању коловозног застора.

Возно динамичка анализа је урађена и за рачунску брзину $V_t=80\text{km/h}$. Важно је напоменути да је возно-динамичка анализа урађена према Швајцарским прописима, обзиром да важећи стандарди и правилник не одражавају стварно стање возног парка и меродавних возила за пројектовање. За потребе спровођења економске анализе као меродавно тешко теретно возило дефинисано је возило Mercedes Actros 1843 са полуприколицом носивости 26 тона и снагом мотора 315 kw (428KS), чије перформансе значајно превазилазе перформансе дефинисане важећим правилником.

3.1.3. Усвојене карактеристике деонице по хомогеним потезима

У следећој табели су приказане карактеристике постојеће деонице државног пута IB 22: Рашка (Косовска Митровица) - Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини од 17.974 км, по хомогеним потезима:

Хом. потез	Стационажа	Дужина (км)	Ширина коловоза (м)	Ограничење брзине (км/час)
I	km 235+917- km 236+530	0.613	7.70	50
II	km 236+530- km 239+100	2.570	7.70	80
III	km 239+100- km 242+600	3.500	11.00	80
IV	km 242+600- km 244+500	1.900	11.00	80
V	km 244+500- km 251+320	6.820	11.00	80
VI	km 251+320- km 252+700	1.380	11.00	80
VII	km 252+700- km 253+891	1.191	11.00	80
VIII	km 235+917- km 236+530	0.613	7.70	50

Табела 1. Карактеристике деонице по хомогеним потезима

Сви хомогени потези пипадају ванградском типу деонице као и стандардној, двотрачној категорији пута. Ширина банке на свим потезима износи 1.25 m.

3.2. Коловозна конструкција

Подаци о структури и карактеристикама постојеће коловозне конструкције на деоници државног IB 22: Рашка (Косовска Митровица) – Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини од 17.974 км, су добијени на основу истражних радова који су спроведени.

У циљу утврђивања структуре коловоза отворено је укупно 19 сондажних јама као и узимање узорка асфалта са 22 опитна места (попречних профила).

Према структури коловозне конструкције издвојени су следећи хомогени потези:

Потез	Дебљина асфалтних слојева (cm)	Дебљине слоја од неvezаног каменог агрегата (cm)	Укупна дебљина коловозне конструкције (cm)
km 235+980 – km 237+200	18	38	56
km 237+200 – km 240+100	18	28	46
km 240+100 – km 241+200	18	45	67
km 241+200 – km 247+050	19	33	52
km 247+050 – km 248+100	18	50	68
km 248+100 – km 252+050	18	40	58
km 252+050 – km 253+931	17	33	50

Табела 2. Хомогени потези према структури коловозне конструкције

3.3. Стање коловоза

3.3.1. Збирни приказ коловоза

Одређивање хомогених потеза

На основу анализираних параметара:

- дефлексија површине коловоза
 - подужне равности површине коловоза
 - попречне равности површине коловоза
 - стања оштећености површине коловоза
 - постојеће структуре коловозне конструкције
 - лабораторијских испитивања материјала од којих је изграђен коловоз
- дефинисани су следећи хомогени потези:

Р.б.	Хом. потез	Стационажа (км)	Дужина хом. потеза (км)
1	I	km 235+980 – km 239+100	3.120
2	II	km 239+100 – km 242+600	3.500
3	III	km 242+600 – km 244+500	1.900
4	IV	km 244+500 – km 251+320	6.820
5	V	km 251+320 – km 252+700	1.380
6	VI	km 252+700 – km 253+931	1.231

Табела 3. Карактеристични хомогени потези

3.4. Пројектно решење коловозне конструкције

Закључци који проистичу из анализе стања постојећег коловоза утицали су на доношење одлуке о начину санације постојећег коловоза.

Општи закључци на нивоу целе деонице су следећи:

- нису потребни радови на проширењу постојећег коловоза,
- не постоје проблеми са бочним улегнућима – денивелацијама (услед нестабилности у трупцу пута), те нема потребе за радовима на санирању ових оштећења и за радовима на санирању косина нестабилних насипа,
- постојеће бетонске ивичне траке нису изломљене ни денивелисане,
- улога ових трака је веома значајна са конструктивног аспекта за одржавање бочне стабилности пута,
- најдоминантнији тип оштећења су попречне пукотине које се рефлектују из првог носећег слоја од бизуменизираних материјала.

Решење санације коловозне конструкције подразумева делимичну замену постојећих асфалтних слојева на ~55% деонице, појачање новим асфалтним слојевима на ~38% деонице и на ~7% деонице значајније радове условљене лошом носивошћу постојећег коловоза. Појачање подразумева издизања постојеће нивелете. Решењем се мора предвидети и нивелациона корекција система за одводњавање (банкине, риголи, ивичњаци,...).

Економским поређењем варијантних решења утврђено је да су решења предложена Варијантом 1 (примена геокомпозитне мреже) знатно скупља и да је Варијанта 2 са аспекта финансијског вредновања оптимално решење.

На основу изнетих анализа и закључака, за даљу анализу, у оквиру израде пројектне документације разматрана су решења дефинисана Варијантом 2.

Укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење

Укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење од 80kN за пројектни период од 10 година (почетна година експлоатације је 2018.) износи:

- Деоница: ID 02230 (Рашка (К. Митровица) – Рашка (Кути))

$ECO_{80kN}(10\text{год.}) = 2.9 \times 10^6$ стандардних осовина од 80kN.

- Деоница: ID 02231 (Рашка (Кути) – Нови Пазар (Бања))

$ECO_{80kN}(10\text{год.}) = 3.6 \times 10^6$ стандардних осовина од 80kN.

Како је дужина прве подеонице само 550m, на целој деоници усвојено је саобраћајно оптерећење друге подеонице, односно:

$ECO_{80kN}(10\text{год.}) = 3.6 \times 10^6$ стандардних осовина од 80 kN.

4. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА

4.1. Анализа економских показатеља

Економска анализа је урађена помоћу модела HDM-4. Овај модел израчунава дисконтоване токове чистих користи (уштеда) током периода анализе. Економска анализа је спроведена за сваки хомогени потез као и кумулативно за целу деоницу.

4.1.1. Резултати економске анализе

Основну варијанту (Base Alternative) за упоређење са пројектним решењем појачаног одржавања деонице пута сачињава минимум радова на одржавању коловоза у пројектном периоду. Минимум радова на одржавању коловоза се састоји од редовног одржавања пута, заливања пукотина, крпљења ударних рупа и поправки ивица коловоза сваке године у току планског периода.

Варијанту за упоређење (Heavy Maintenance) представљају основна варијанта и радови на појачаном одржавању пута у складу са пројектним решењем према Главном пројекту појачаног одржавања државног ИБ 22 на деоници: Рашка (Косовска Митровица) – Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини од 17.974 км.

У следећој табели су приказани резултати економске анализе:

Преглед економских индикатора *	
Уштеде у трошковима експлоатације возила (мил. €)	8.02
Преглед економских индикатора*	
Уштеде у времену путовања (мил. €)	4.39
Уштеде услед смањења броја саобраћајних незгода	2.29
ИСП (%)	19.5
НСВ (мил. €)	6.66
НСВ / КАП	0.81

Табела 4. Резултати економске анализе – укупна инвестиција

* дисконтоване вредности

4.2. Анализа осетљивости резултата

Анализа осетљивости резултата је споведена за следеће случајеве:

- смањење обима саобраћаја за -20%,
- повећање укупних трошкова радова за +20%,
- смањење обима саобраћаја за -20% и повећање укупних трошкова радова за +20%.

У наредној табели су приказани добијени резултати теста осетљивости кроз следеће економске показатеље:

- Нето Садашњу Вредност (*Net Present Value - NPV*),
- Однос инвестиционих (капиталних) трошкова улагања и Нето Садашње Вредности (*Net Present Value/Capital Investment - NPV/CAP*),
- Економску Интерну Стопу Рентабилитета (*Economic Internal Rate of Return - EIRR*).

Економски индикатор	ИРС (%)	НСВ (мил. €)	НСВ / КАП
Референтна вредност	19.5	6.60	0.81
Повећање трошкова радова за +20%	15.6	5.01	0.61
Смањење стопе саобраћаја за -20%	18.1	5.70	0.59
Смањење стопе саобраћаја за -20% и повећање трошкова радова за +20%	14.3	4.04	0.49

Табела 5. Анализа осетљивости резултата

У следећој табели су приказани резултати теста осетљивости промене Нето Садашње Вредности за различите вредности дисконтне стопе (8%, 10% и 12%):

Р.бр.	Тест осетљивости	Дисконтна стопа		
		8%	10%	12%
1	Нето Садашња вредност - НПВ (мил. €)	6.60	4.88	3.43

Табела 6. Резултати теста осетљивости

Претходно добијени резултати указују на оправданост инвестиције у наведеном периоду анализе 2019-2031. (период анализе: 13 година → 10 година експлоатације деонице после извршених радова на појачаном одржавању).

5. ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ

- Економска анализа је урађена помоћу модела HDM-4. Овај модел израчунава дисконтване токове чистих користи (уштеда) током периода анализе. Економска анализа је спроведена за период експлоатације рехабилитоване деонице пута од 10 год. Укупан период анализе обухвата 3+10=13 год. (2019.-2031.год.)
- У поступку анализе доминантни утицај има однос уложених средстава и очекиваног ефекта побољшања одвијања саобраћаја, односно смањење експлоатационих трошкова возила и

уштеде у времену путовања, као и одређене уштеде услед смањења броја саобраћајних незгода.

- Разматрана је деоница државног пута IB 22 на деоници: Рашка (Косовска Митровица) – Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини од 17.974 км.
- Базна година за саобраћајне анализе је **2017. год.**
- Радови на појачаном одржавању пута су предвиђени током **2021. год. (100%)**.
- Почетна година експлоатације рехабилитоване деонице пута је **2022. год.**
- Трошкови радова на појачаном одржавању деонице пута у овој економској анализи су засновани на резултатима Главног пројекта појачаног одржавања (јули 2019.).
- Укупна вредност инвестиције са применом у 2021. години је процењена на **12,639,865€, односно сса 703,230€ по км пута** (финансијска вредност).
- Добијени резултати економске анализе пројектног решења радова на појачаном одржавању разматране деонице исказаних пре свега кроз Интерну Стопу Рентабилитета (**ИРС= 19.5%**) и Нето Садашњу Вредност (**НПВ= 6.60 мил. €**) указују на оправданост инвестиционих улагања у радове на појачаном одржавању.
- Резултати анализе осетљивости указују на стабилност пројектног решења, поготово ако се има у виду да у оквиру ове анализе нису разматране егзогене користи са социјалног аспекта.

На основу ових резултата може се закључити да је улагање у предложене радове појачаног одржавања на разматраној деоници државног пута IB 22 на деоници: Рашка (Косовска Митровица) – Нови Пазар (Бања), од км 235+917 до км 253+891, у укупној дужини деонице од 17.974 км **економски оправдано**.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. „Управљање путном мрежом”, др Небојша Радовић и доц. др Милош Шешлија
2. „Приручнику за анализу трошкова и користи за Србију”, ЈП Путеви Србије, Београд, децембар 2010.
3. „Applying the HDM-4 Model to Strategic Planning of Road Works” – Rodrigo Archondo – Callao
4. „Основе за оптимизацију управљања одржавањем коловоза” – Небојша Радовић, Ђорђе Узелац и др.

Кратка биографија:



Наталија Глишић рођена је у Градишци, у Републици Српској, БиХ, 1996. године. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства – Путеви, железнице и аеродроми одбранила је 2021. године.

ANALIZA VREMENSKE EFIKASNOSTI SOFTVERA ARMCAD I BIM SOFTVERA ALLPLAN**ANALYSIS OF TIME EFFICIENCY OF ARMCAD SOFTWARE AND BIM SOFTWARE ALLPLAN**

Nemanja Budalić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – BIM (eng. Building Information Modeling) je revolucionarna metoda projektovanja koja se koristi u građevinarstvu i arhitekturi kako bi se stvorio digitalni model koji sadrži sve relevantne informacije o projektu.

Ključne reči: BIM, 3D, Model, Allplan, ArmCAD

Abstract – BIM (Building Information Modeling) is a revolutionary design method used in construction and architecture to create a digital model that contains all relevant information about the project.

Keywords: BIM, 3D, Model, Allplan, ArmCAD

1. UVOD

BIM (eng. Building Information Modeling) je revolucionarna metoda projektovanja koja se koristi u građevinarstvu i arhitekturi kako bi se stvorio digitalni model koji sadrži sve relevantne informacije o projektu. Ovaj model obuhvata sve, od osnovne geometrije do tehničkih specifikacija, količina potrebnih materijala, procena troškova, performansi i mnoge druge ključne informacije.

U okviru ovog master rada, analiziraću i istraživati koncept BIM-a, istražujući njegove prednosti tokom različitih faza razvoja projekta. Takođe ću se usmeriti na detaljnu analizu vremenskih procena za izradu modela i detalja armiranja korišćenjem softverskih alata Allplan i ArmCAD.

Ušteda vremena u izradi modela u Allplan-u može se postići kroz efikasnu upotrebu alata i funkcija ovog softvera, kao i kroz dobru organizaciju i planiranje rada. Kao rezultat toga, troškovi rada, vremena i potrebnih resursa mogu biti značajno smanjeni, što može pozitivno uticati na ukupni uspeh građevinskog projekta.

2. BUILDING INFORMATION MODELING

"Building Information Modeling" ili skraćeno BIM je termin koji opisuje digitalizaciju građevinske industrije. On omogućava sveobuhvatan prikaz građevinskih projekata, tj. pravovremeno planiranje tokom celog ciklusa projekata [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Peško, vanr. prof.

2.1. Trenutna BIM praksa

Kako BIM slavi najmanje 40 godina svog opšteg koncepta i tehnologije, čini se da upravo ostvaruje svoj ogroman potencijal u sektoru arhitekture, inženjeringa i građevinarstva. Vredi napomenuti da postoje neke barijere koje mogu usporiti stope usvajanja BIM-a. Nedostatak interne stručnosti, nedostatak obuke i troškovi povezani s BIM-om su sve prepreke za implementaciju tehnologije. Ipak, klijenti i izvođači sve više insistiraju na korišćenju BIM-a. Nekolike vlade su takođe zauzele čvrst stav po tom pitanju. U Velikoj Britaniji, korišćenje BIM-a je obavezno od 2011. za kompanije koje žele da rade na državnim ugovorima.

U 2020-ima, otprilike 50% preduzeća je prijavilo da koristi BIM u određenoj meri, a njegova popularnost je od tada značajno porasla [3].

3. ARMCAD

ArmCAD je program, koji integrisan u AutoCAD ili BricsCAD, pomaže u pravljenju visokokvalitetnih profesionalnih crteža detalja armiranja. Program ArmCAD oslobađa korisnika najnapornijeg dela posla - razvrstavanja, pozicioniranja, obeležavanja, brojanja, oblikovanja, sidrenja i kontrole grešaka. Sve ovo je omogućeno uz automatsko ažuriranje svih naknadnih izmena. U svakom trenutku, program omogućava automatsko generisanje specifikacije armature koja precizno i tačno prikazuje geometriju i količinu svake od upotrebljenih pozicija šipki na crtežu [5].



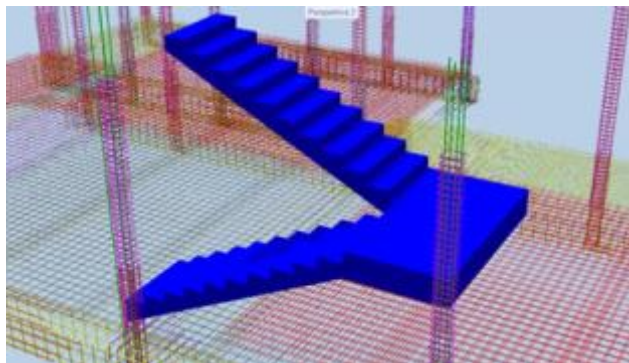
Slika 1. Isti primer slike sa manjim dimenzijama

Omogućeno je generisanje novih vrsta izveštaja rekapitulacija šipki za svaku uplatu, rekapitulacija šipki prema SNIP propisima, plan sečenja šipki. Uvedena je i mogućnost automatskog obeležavanja neažuriranih izveštaja na crtežu nakon bilo koje izmene koja utiče na

specifikaciju, kako bi se korisnik obavestio da je potrebno ponovno generisanje izveštaja [5].

4. ALLPLAN

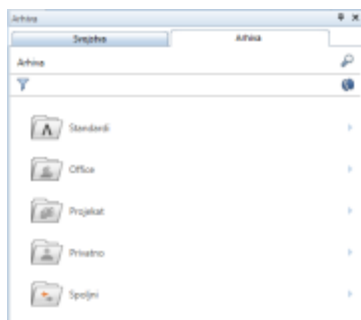
Allplan je softver za arhitektonsko, inženjersko i građevinsko planiranje i dizajn. Razvijen je od strane nemačke kompanije Nemetschek AG i prvi put je objavljen 1986. godine. Kroz godine, Allplan se razvio u kompleksan alat za modeliranje informacija o zgradama (BIM) i široko se koristi u industriji građevinskih radova širom sveta. Ovaj program omogućava korisnicima da brzo i efikasno kreiraju 2D i 3D modele, izvrše njihovu analizu i pripreme dokumentaciju potrebnu za izgradnju.



Slika 2. Armiranje međuspratne tavanice u Allplan-u

Allplan pruža funkcionalnosti kao što su BIM (Building Information Modeling), podrška za više jezika i standarde, integraciju sa drugim softverima, kao i mogućnost rada na projektu sa timom. Allplan je prilagodljiv i može se koristiti za projekte različitih veličina i složenosti, uključujući stambene, poslovne i industrijske objekte.

Gotovo svi elementi koje možete naći u biblioteci komponenata Allplana imaju odgovarajuće komponente u biblioteci IFC, kao što su zidovi, stubovi, stepenice, sobe (Slika 3). Ako kreirate crteže i projekte koristeći arhitektonske komponente kao i obično, Allplan automatski dodeljuje te komponente odgovarajućem tipu IFC ObjectType pri izvozu. Allplan prenosi sve parametre i osobine, uključujući interakcije sa susednim komponentama. Ne morate ništa definisati zasebno [4].



Slika 3. Allplan biblioteka- Raznolik izbor dodataka za unapređenje modela.

Izveštaj armature u Allplan-u može se generisati pomoću funkcija za automatizaciju i izveštavanje (Slika 4). Ovaj izveštaj obično sadrži detaljne informacije o armaturi

uključenoj u projekat, uključujući tipove i količine armature, precizne dimenzije i pozicije. Moguće je takođe dodati informacije o materijalima, troškovima i vremenskom planu. Pomoću ovog izveštaja, inženjeri i građevinci mogu precizno planirati i kontrolisati proces izgradnje.

Broj šipke	Pro.	Komada	Ø [mm]	Nadnos-akci	Klasa šipke	Jed. dužina [m]	Ukupno dužina [m]	Težina [kg]
1	10	12	12		B500B	12.00	120.00	121.81
2	10	12	12		B500B	7.20	72.00	74.08
3	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
4	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
5	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
6	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
7	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
8	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
9	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
10	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
11	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
12	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
13	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
14	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
15	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
16	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
17	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
18	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
19	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80
20	10	12	12		B500B	3.20	32.00	32.80

Slika 4. Specifikacija u Allplan-u koja sadrži armaturne šipke i mrežu

5. PREDNOST ALLPLAN-A U ODNOSU NA ARM CAD

Posao građevinskog inženjera danas zahteva 10 puta veću brzinu i preciznost nego pre 20 ili 30 godina. Inženjeri se moraju prilagoditi novim standardima i poboljšanjima kako bi ostali konkurentni na tržištu i na vreme dostavljali jasne i tačne statičke proračune i analize, ali i armaturne nacрте i modele. Potpuno je jasno da se od inženjera ne može očekivati veća brzina i preciznost ako se i dalje radi na isti način i putem istih alata kao što se radilo pre 20 godina.

Kada govorimo o povećanoj produktivnosti u građevinskoj industriji onda zasigurno govorimo o BIM-u, openBIM rešenja i BIM softveri koji se nude na tržištu svakim danom pomeraju granice u tehnološkom razvoju i samim tim inženjerima omogućavaju da budu u korak sa vremenom i sa zahtevima tržišta.

Ako građevinski inženjer želi da poveća svoju brzinu rada i da se prilagodi zahtevima tržišta, za izradu armaturnih nacрта i BIM modela armature izabracе softver Allplan Engineer. Pored činjenice da sa Allplan-om inženjer ima automatski ispis svih količina i automatski izrađene preseke, najprivlačnija je činjenica da su mu omogućeni asocijativni izveštaji postavljanje armature [5].

Asocijativne legende podrazumevaju da se svakom promenom armature, automatski menja i legenda. Jednim klikom na armaturnu šipku ili mrežu omogućeno je preuzimanje šeme armature i pozicioniranje iste na željeno mesto. Naravno, izveštaje armature moguće je exportovati u formatima poput pdf-a i excel-a i na taj način pripremiti kompletnu dokumentaciju za predaju.

Evo nekoliko potencijalnih prednosti koje Allplan može imati u odnosu na ArmCAD:

1. Integrirana platforma za više disciplina: Allplan je poznat po tome što omogućava projektantima da rade na različitim disciplinama unutar iste

platforme, kao što su arhitektura, građevinski inženjering i građevinska fizika. To olakšava saradnju među različitim timovima i smanjuje potrebu za prelaskom između različitih softverskih alata.

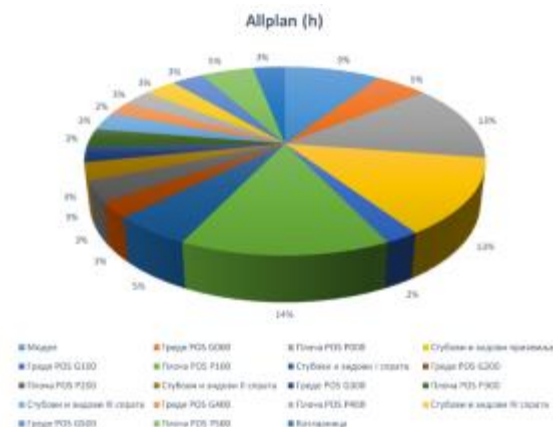
2. BIM podrška: Building information modeling (BIM) je pristup projektiranju koji se sve više koristi u građevinskoj industriji. Allplan nudi snažnu podršku za BIM procese, omogućavajući korisnicima da kreiraju 3D modele sa bogatim informacijama o objektima. Ovo olakšava analize, planiranje i koordinaciju tokom čitavog životnog ciklusa projekta.
3. 3D modeliranje i vizualizacija: Allplan pruža napredne alate za 3D modeliranje i vizualizaciju, omogućavajući korisnicima da stvore realistične prikaze svojih projekata. Ovo je posebno korisno pri prezentaciji projekata klijentima ili timovima.
4. Napredne funkcionalnosti za arhitekte: Allplan je posebno usmjeren na potrebe arhitekata, nudeći alate za projektovanje fasada, interijera, konstrukcija i drugih elemenata. Takođe, omogućava automatizaciju određenih zadataka kako bi se ubrzao proces projektiranja.
5. Kontrola promena i verzioniranje: Allplan obično ima napredne alate za upravljanje promenama i verzioniranje projekata. Ovo olakšava timovima da prate promene, izbegavaju konflikte i održavaju doslednost u projektima.
6. Napredne analize i simulacije: Allplan može imati više analitičkih alata koji pomažu inženjerima da procene performanse struktura ili elemenata projekta pod raznim uslovima, kao što su opterećenja vjetrom, zemljotresima itd.
7. Međunarodna podrška i zajednica: Allplan je široko korišćen u mnogim zemljama, što znači da ima aktivnu zajednicu korisnika i podršku na različitim jezicima. Ovo može biti korisno za korisnike koji rade na projektima u različitim delovima sveta [5].

6. VREMENSKA EFIKASNOST ALLPLAN-A U ODNOSU ARMCAD

U okviru ovog master rada, izradio sam model koristeći softvere Allplan i ArmCAD kako bih mogao izvršiti poređenje vremena potrebnog za kreiranje modela i izradu detalja armature. Analizom završenih radova, zaključio sam da je projektovanje u programu Allplan trajalo 259 sati, dok je isti proces u programu ArmCAD zahtevao 386 sati. Time je ostvarena ukupna ušteda od 127 sati.

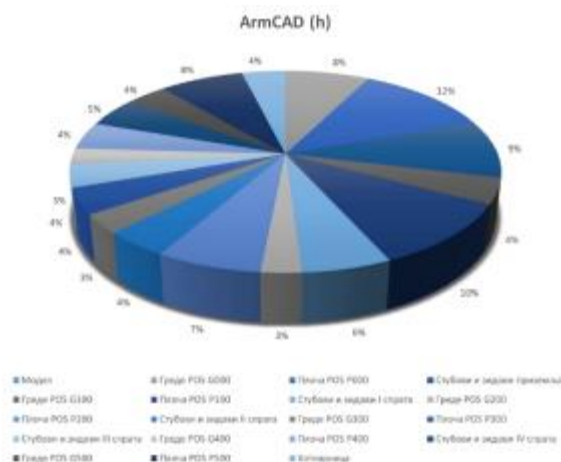
Izrada modela i armiranja u Allplan-u integriše 3D modeliranje sa preciznim definisanjem armature, čime se olakšava proces projektovanja i smanjuje mogućnost grešaka. Allplan nudi alate za sve faze ovog procesa, od početnog modeliranja do generisanja armaturnih crteža i kontrole kvaliteta, što omogućava efikasan i tačan dizajn betonskih konstrukcija. Za armiranje u Allplan-u je potrošeno 235 sati, što je znatno brže nego u ArmCAD-u, čemu je potrebno 386 sati. Treba napomenuti da imam po

2 godine iskustva u oba softvera, tako da se može reći da je analiza opravdana.



Slika 5. Potrebno vreme za izradu modela i detalja armiranja u Allplan-u

Kada poredite ArmCAD sa Allplan softverom za projektovanje i CAD (projektovanje), možete primetiti neke razlike u funkcionalnostima i karakteristikama koje bi se mogle smatrati manama ArmCAD-a u poređenju sa Allplan-om.



Slika 6. Potrebno vreme za izradu modela i detalja armiranja u ArmCAD-u

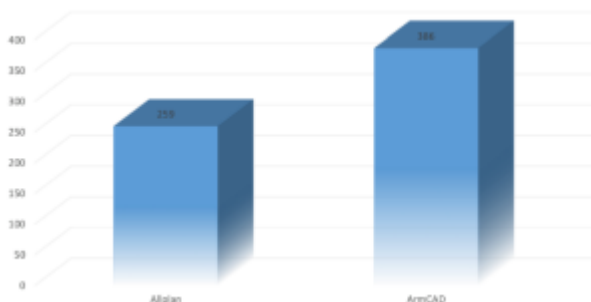
7. ZAKLJUČAK

Allplan je nesumnjivo svestran i moćan softver koji pruža brojne prednosti u građevinskoj industriji. Njegove prednosti obuhvataju integraciju, automatizaciju, napredne alate za projektovanje, analizu performansi, kontrolu troškova i bezbednost podataka, čime postavlja visoke standarde za efikasnost, tačnost i bezbednost u svim fazama građevinskih projekata.

Kroz ovaj rad, jasno je postalo da Allplan može doprineti značajnom unapređenju produktivnosti i kvaliteta u procesu projektovanja i izgradnje. Osim toga, pomaže u smanjenju rizika i optimizaciji resursa, što čini njegovu upotrebu neophodnom za svakog profesionalca u građevinskoj industriji.

U budućnosti se može očekivati da će Allplan i slični softveri još više napredovati kako bi zadovoljili rastuće zahteve i izazove u građevinskoj industriji. Stoga je ključno da inženjeri, arhitekte i projektanti budu spremni

da iskoriste prednosti ovih alatki kako bi obezbedili uspešno i efikasno izvođenje svojih projekata, ostvarujući istovremeno visok kvalitet i kontrolu nad budžetima. Allplan ostaje pouzdan partner u ostvarivanju ovih ciljeva.



Slika 7. Vreme potrebno za izradu objekta u Allplan i ArmCAD softveru

U svom master radu izvršio sam uporednu analizu softvera Allplan i ArmCAD i zaključio sam da je Allplan znatno brži alat. Tačnije, za izradu modela i armiranje u softveru Allplan potrošeno je 259 sati, dok je u slučaju softvera ArmCAD za iste zadatke utrošeno 386 sati.

8. LITERATURA

- [1] BIM – Building information modeling – projektovanje po standardima savremenog građevinarstva, Preuzeto sa: www.gradjevinarstvo.rs
- [2] BIM - Budućnost građevinske industrije (2020), Preuzeto sa: <https://www.grenef.com/bim-buducnost-gradjevinske-industrije/>
- [3] Team CAD „Napredno upravljanje BIM podacima“. Preuzeto sa: www.teamcad.rs
- [4] Preuzeto sa: www.google.com
- [5] Preuzeto sa: <https://www.radimpex.rs/sr/armcad>

Kratka biografija:



Nemanja Budalić rođen je 1992. godine u Nikšiću. Završio srednju građevinsku školu 2011.god. Iste godine upisuje Fakultet Tehničkih Nauka smer građevinarstvo. Diplomski rad odbranio je 2020.godine.

**UPRAVLJANJE IZGRADNJOM STAMBENO – POSLOVNOG OBJEKTA SA
FINANSIJSKO – EKONOMSKOG ASPEKTA****MANAGEMENT OF THE CONSTRUCTION OF A RESIDENTIAL-BUSINESS FACILITY
FROM A FINANCIAL-ECONOMIC ASPECT**

Vladan Sarkić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Tema rada jeste analiza upravljanja građenja stambeno-poslovnog objekta sa finansijsko-ekonomskog aspekta. Urađen je dinamički plan na osnovu kog smo uradili analizu vremena i troškova izgradnje objekta. Analizirani su planirani i stvarni troškovi izgradnje stambeno-poslovnog objekta.

Ključne reči: *Upravljanje građenjem, Stambeno-poslovni objekat, Vrijeme, Troškovi*

Abstract – *The topic of the work is the analysis of the management of the construction of a residential and commercial building from the financial and economic aspect. A dynamic plan was prepared, based on which we analyzed the time and costs of building the facility. The planned and actual costs of building a residential and commercial building were analyzed.*

Keywords: *Construction management, Residential and commercial building, Time, Costs*

1. UVOD

U savremenom društvu, građevinska industrija predstavlja važan sektor ekonomije i infrastrukturnog razvoja. Izgradnja i realizacija radova predstavljaju kompleksan proces koji zahtijeva dobro planiranje, organizaciju i koordinaciju različitih aktivnosti. Cilj ovog rada jeste da se analizira i razmisli o značaju pripreme i realizacije radova u građevinarstvu, kao i da se pristupi ovim procesima na akademski način.

U ovom radu ćemo detaljnije istražiti i analizirati procese pripreme i realizacije radova u građevinarstvu, fokusirajući se na njihov značaj i izazove. Takođe, razmotrićemo različite faktore koji utiču na uspješnost ovih procesa, uključujući primjenu najnovijih tehnologija i standarda u građevinarstvu.

Uz očekivanje da će ova analiza pružiti uvid u značaj i kompleksnost pripreme i realizacije radova, nadam se da će ovaj rad doprinijeti razumijevanju ove važne faze u građevinarstvu i pružiti osnovu za dalje istraživanje i unaprijeđenje ovih procesa.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Milan Trivunić.

2. UPRAVLJANJE GRAĐENJEM**2.1 Povezivanje organizacionog upravljanja i upravljanje projektom**

Upravljanje projektima su okviri, funkcije i procesi koji vode aktivnosti upravljanja projektima u cilju kreiranja jedinstvenog proizvoda, usluge ili rezultata kako bi se ispunili organizacioni, strateški i operativni ciljevi [3]. Upravljanje na nivou projekta obuhvata:

- Vođenje i nadgledanje upravljanja projektnim radom;
- Obezbjedivanje pridržavanja politika, standarda i smjernica;
- Uspostavljanje uloga upravljanja, odgovornosti i vlasti;
- Donošenje odluka u vezi sa eskalacijom rizika, promjenama i resursima (npr. tim, finansijski, fizički, objekti);
- Obezbjedivanje odgovarajućeg angažovanja zainteresovanih strana;
- Nadgledanje performansi.

2.2 Dokumentacija – realizacija radova

Prilikom realizacije radova neophodno je voditi prateću dokumentaciju na gradilištu.

Jedan od osnovnih dokumenata koji vodi odgovorni izvođač radova jeste građevinski dnevnik u koji se unose sve bitne informacije o realizaciji radova za posmatrani dan [3].

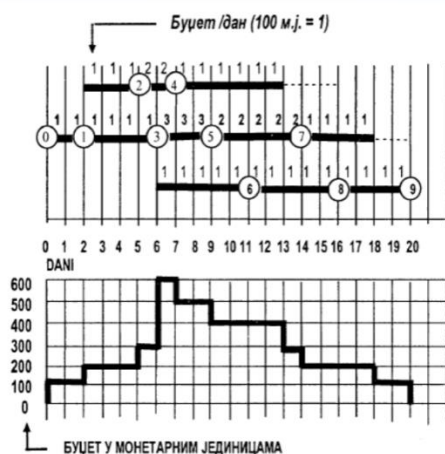
U dnevnik informacije mogu unostiti i članovi stručnog nadzora kao i lica za BZR i koordinator za BZR u fazi izvođenja radova.

Građevinski dnevnik je potrebno voditi za svaku vrstu radova pri čemu je za svaki dnevnik odgovoran poseban odgovorni izvođač radova sa odgovarajućom inženjerskom licencom.

Inspektori uočene zamjerke unose u posebnu knjigu - Knjigu inspekcije.

2.3 Planiranje realizacije – finansije**Troškovi**

- Analiza po pozicijama (često se radi već u fazi davanja ponude)
- Analiza troškova gradilišta, menadžmenta, preduzeća...
- Analiza troškova i prihoda (Cash Flow)
- Analiza ostalih troškova (usluge firme za BZR, konsultanti npr. Za odštetne zahtjeve i sl.) [3].



Slika 1. Raspored troškova po aktivnostima i danima [3]

2.4 Predmjer i predračun radova

Sastavni dio arhitektonsko-građevinskog projekta su predmjer i predračun radova. Takođe, su osnova za planiranje i upravljanje građenjem. Osnovna uloga je određivanje vrijednosti radova za potrebe ugovaranja izvršenja radova između investitora i izvođača.

2.5 Tehnologija procjene troškova

Kvalitetna procjena troškova je neophodan ulazni podatak za donošenje većine važnih odluka tokom realizacije projekta kao što su :

- ocjena opravdanosti,
- definisanje obima i kvaliteta posla,
- izbor izvođača,
- nabavka materijala,
- izvođenje dodatnih radova i drugo.

Troškove procjenjuje svaki od učesnika u realizaciji projekta koristeći raspoložive ulazne podatke i metode za procjenu. Optimizaciju planiranja proizvodnje: vremena, kapaciteta i troškova moguće je provesti pomoću primjenjenih matematičkih metoda samo onda kad se može sprovesti ispravna procjena vrijednosti navedenih veličina. U proizvodnji, pa tako i u građenju, to je složen problem s obzirom na činjenicu međusobne isključivosti pojedinih veličina [4].

Ukupni troškovi projekta sastoje se od:

- kapitalnih troškova,
- troškova održavanja,
- upravljanja i korištenja projekta i
- troškova uklanjanja projekta.

2.6 Određivanje i kvalifikacija troškova

Troškovi predstavljaju vrijednosno izrađene utroške rada, materijala, dugotrajne i kratkotrajne imovine, te tuđih usluga u cilju ostvarenja određenog učinka (proizvoda, roba ili usluga). Trošak predstavlja sredstvo koje se koristi u poslovanju poduzeća, kako bi se osigurala nova imovina te poboljšala postojeća, odnosno, trošak je resurs koji se koristi i postoji u poslovanju svakog preduzeća. U računovodstvu, pojam „trošak“ koristi se kako bi se prikazalo koliko poduzeće troši novca za nabavku opreme i drugih imovinskih sredstava, te se smatraju jednom vrstom rashoda, ali rashodi i troškovi su različiti pojmovi,

jer svi troškovi ne mogu se smatrati rashodima o čemu će više biti riječi u nastavku rada. U računovodstvu, troškovi se izražavaju i mjere u monetarnim jedinicama koje su bile ili trebaju biti plaćene za dobra ili usluge, a posmatra li se u računovodstvenim terminima, treba razlikovati troškove po bliskim kategorijama, poput sledećih:

- utrošci – mogu se definisati kao fizičko ulaganje materijalnih vrijednosti i dobara u stvaranju učinka,
- izdaci – definišu se kao „smanjenja novčanih sredstava u blagajni i na stanju u bankama, pri čemu treba istaknuti da se izdacima mogu smatrati samo smanjenja novčanih sredstava nastala na „normalan“ način, jer smanjenje novca u blagajni koje je nastalo kao npr. posljedica provalne krađe, ne može se smatrati izdatkom,
- rashodi – negativna stavka računa dobitka i gubitka, mogu se definisati kao žrtvovani resursi u stvaranju prihoda kojem pripadaju i koji se odnosi na određeno obračunsko razdoblje.

2.7 Vrste troškova

S obzirom da su troškovi u preduzeću jedan od najvažnijih dijelova, te su dio rashoda čiji se iznos utvrđuje na kraju svake poslovne godine, potrebno je voditi redovnu evidenciju o njihovom nastanku, vrstama i izvorima [4].

Takođe, veoma je važno da svako preduzeće bude upoznato s razlozima nastanka troškova, te se iz tih razloga troškovi dijele prema različitim klasifikacijama i kriterijumima, a da bi se moglo pravovremeno uticati na troškove, potrebno je poznavati sve njihove vrste.

2.8 Upravljanje projektom sa ekonomsko-finansijskog aspekta

Osnovni cilj praćenja i kontrole troškova realizacije projekta jeste ažurno praćenje dinamike trošenja planiranih finansijskih sredstava, da se pravovremeno uoče i utvrde odstupanja učinjenih troškova u odnosu na planirane i da se preduzmu potrebne akcije da se stvarni troškovi usklade sa planiranim.

Praćenje i kontrola investicionih projekata se odvija na terenu pomoću građevinskog dnevnika, građevinske knjige, radnog naloga, radnog lista, itd. U građevinskoj knjizi se prate i evidentiraju podaci o utrošenim količinama materijala za pojedine dijelove projekta, a u građevinskom dnevniku se prate i evidentiraju podaci o broju radnika i radnom vremenu koje je utrošeno. Što se tiče troškova, dvije najznačajnije grupe za praćenje u okviru direktnih troškova su troškovi materijala i troškovi rada, a treba pratiti i indirektno troškove.

Kad se prikupe svi podaci, onda se uz pomoć odgovarajuće dokumentacije, podaci slivaju u računovodstvo i formira se posebno knjigovodstvo posmatranog projekta. Na ovaj način prate se ukupno ostvareni troškovi i formiraju se izvještaji koji su neophodni za kontrolu troškova, odnosno za upravljanje troškovima [2]. Praktične metode za kontrolu troškova u građevinarstvu mogu se podijeliti na:

- Dinamičku kontrolu troškova baziranu na kontroli utroška resursa
- Statička kontrola troškova
- Kontrola protoka novca (cash flow)
- Earned Value tehnika kontrole

3. PRIMJER UPRAVLJANJA IZGRADNJOM SA ASPEKTA TROŠKOVA

3.1 Opšti uslovi

Da bi se izgradnja – realizacija predmetnog objekta završila što efikasnije, svi učesnici oko izgradnje moraju se pridržavati uslova datih u ovom elaboratu. Prije davanja ponude za izgradnju objekta izvođač radova treba da obide teren kako bi se upoznao sa terenskim, klimatskim hidrogeološkim, geološkim i drugim uslovima, karakteristikama, mogućnostima izgradnje i ostalim elementima bitnim za određivanje realnih jediničnih cijena sa kojima će učestvovati na licitaciji.

Prije početka radova izvođač je dužan da se upozna sa lokalnim uslovima, propisima, pristupnim putevima, mogućim deponijama i svim drugim činiocima koji bi mogli uticati na nesmetano izvođenje radova.

Izvođač radova je dužan da se istovremeno snabdije i dopremi na gradilište potreban građevinski materijal, alat, mehanizaciju i sve ostalo što je neophodno da bi izgradnja počela na vrijeme i završila se u ugovorenom roku. Izvođač je dužan da obezbijedi stručno rukovodstvo za sve vrijeme izvođenja radova kao i posle toga, u cilju ispravnog izvršenja obaveza izvođača prema ugovoru.

Sav materijal i oprema koji se ugrađuje za radove po ugovoru mora biti u saglasnosti sa JUS-om ili drugim odobrenim standardima, prvoklasnog kvaliteta i najbolje izrade i marke, a svi radovi se moraju obaviti pažljivo i stručno.

3.2 Kontrola troškova

U procjeni i kontroli troškova, dakle, veoma značajno mjesto ima izbor i primjena optimalne tehnologije građenja. Pored tehnologije građenja, na nivo i kontrolu troškova utiče i veoma mnogo drugih faktora, kao što su:

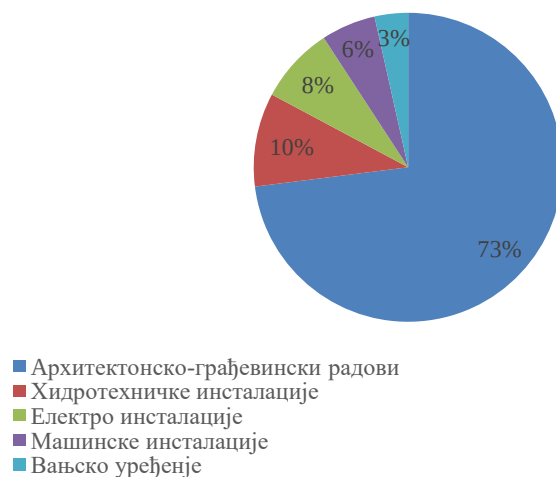
- Tip projekta
- Faza u kojoj se nalazi realizacija projekta
- Kvalitet plana za upravljanje projektom
- Primjenjeni model troškova
- Zahtjevani rok izradnje
- Zahtjevani kvalitet radova i drugi...

Značaj nabrojanih faktora za kontrolu troškova varira od projekta do projekta. Za veće projekte izuzetno je značajno uspostavljanje posebnog informacionog sistema na nivou projekta i obezbjeđenje komunikacije između sjedišta firme i gradilišta.

3.3 Rekapitulacija predmjera i predračuna za izgradnju objekta

Na osnovu date raspodjele vrijednosti radova, možemo zaključiti da se najveći dio investicije od 72% odnosi na Arhitektonsko-građevinske radove. Ostali dio investicije je raspodjeljen na hidrotehničke instalacije (3%), elektro instalacije (5%) i rashladni sistemi (20%), svi ovi podaci su prikazani na sledećem dijagramu.

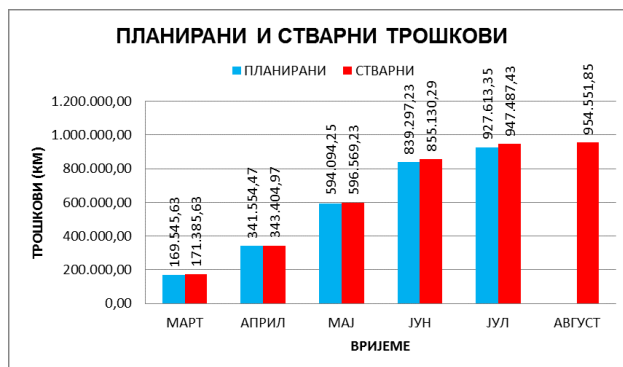
Процентуално учешће укупних
радова на објекту



Slika 2. Procentualno učešće ukupnih radova na objektu

3.4 Analiza grubih građevinskih i zanatskih radova

Izvođenje svih grubih građevinskih radova i građevinskih zanatskih radova se izvode u našem preduzeću, dok se ostali radovi izvode preko podizvođača, predstavlja efikasan i strategijski pristup upravljanja građevinskim projektima. Ova organizacija rada omogućava da se iskoriste prednosti interne ekspertize i specijalizacije u oblasti grubih radova, dok istovremeno sarađujući sa stručnjacima iz drugih oblasti preko podizvođača. Jedna od glavnih prednosti izvođenja svih grubih građevinskih radova i građevinsko - zanatskih radova u našem preduzeću je kontrola kvaliteta. Imajući kontrolu nad ovim ključnim fazama građevinskog procesa, imamo veću mogućnost da garantujemo visok kvalitet izvedenih radova. Naši interni stručnjaci mogu primijeniti svoje znanje i iskustvo kako bi se osigurala preciznost i postojanost u izvršavanju radova. Takođe, naše preduzeće može uspostaviti efikasne protokole i standarde za kvalitet, što može doprinijeti zadovoljstvu klijenata.



Slika 3. Odnos planiranih i stvarnih troškova na mjesečnom nivou

Iz grafičkog prikaza planiranih i stvarnih troškova može se zaključiti kako je vrijeme trajanja projekta produženo i samim tim su nastala odstupanja u vrijednostima privremenih mjesečnih situacija. Stvarni troškovi su odstupili za 26.938,50 KM odnosno 2,90 % od planiranih troškova. U ovom primjeru praćenja i upravljanja

vremena i troškova projekta dolazimo do sledećih zaključaka:

Histogram radne snage pokazuje da u većem broju pozicija izvođenja radova imamo manjak radnika kako visoko kvalifikovanih (VK), tako i nisko kvalifikovanih (NK), koji direktno utiču na pomjeranje završetka građenja objekta. Smatramo da sa većim brojem radnika kašnjenja na određenim pozicijama ne bi bilo. Da li povećati broj radnika ili čak uvesti drugu radnu smjenu, sve u korist završetka posla u planirano vrijeme.

Histogram resursa, mašina isto pokazuje nedostatke, odnosno potrebu za dodatkom auto pumpe prilikom betoniranja ploče, kao i dodatnom toranjskom dizalicom za vrijeme radova obziđivanja dimnjaka i sličnih pozicija. Dodavanjem broja radnika i broja mašina, povećali bi se troškovi, ali bi to sve bilo u manjim količinama nego dopustiti da pozicije čekaju, a vrijeme prolazi, zakašnjenja se gomilaju. U takvim slučajevima često dolazi do „probijanja“ ugovorenih rokova završetka građenja objekta koji donose „penale“ odnosno nove troškove itd.

4. ZAKLJUČAK

Analizom literature iz oblasti upravljanja troškovima projekta, uočeno je da danas postoje razne metode i tehnike, kao i računarski programi, koji nam pomažu i olakšavaju postizanje postavljenih ciljeva projekta. Ostvarenje cilja projekta u mnogo čemu zavisi od ispravne procjene troškova i pravilnog planiranja budžeta prije početka realizacije bilo kojeg projekta, predviđeni troškovi moraju biti identifikovani i mjerljivi. Takođe, ostvarenje vremenskog roka za realizaciju projekta u mnogo čemu zavisi od vremenskog plana, koji se dobija primjenom nekih od opisanih tehnika u radu. Nažalost, projekti često imaju loše rezultate u ispunjavanju ciljeva u pogledu troškova, kao i kod ispunjavanja vremenskih ciljeva. Konkretno na objektu za koji smo radili analizu imamo sledeće podatke:

- Planiran početak izvođenja radova je 6. Mart 2023. Godine
- Planiran završetak izvođenja radova je 26. Jul 2023. godine
- Planiran broj radnih sati je 13.136,00 sati
- Planiran broj radnih dana je 117 dana
- Planirani troškovi iznose 927.613,35 KM

Nakon izvršene analize planiranja u MS Project dobili smo sledeće parametre:

- Stvarni početak izvođenja radova je 6. Mart 2023. Godine
- Stvarni završetak izvođenja radova je 10. Avgust 2023. godine
- Stvarni broj radnih sati je 16.480,00 sati
- Stvarni broj radnih dana je 130 dana
- Stvarni troškovi iznose 954.551,85 KM

Praćenje vremena i troškova izgradnje stambeno-poslovnog objekta kroz gore navedene opise, dijagrame i tabelarne prikaze dobijamo stvarno stanje kako izgleda proces izvođenja radova na navedenom objektu.

Razlike koje imamo od projektovanog do izvedenog stanja, a koje smo vidjeli pomoću metode dinamičkog planiranja i praćenja radova, rešavamo u toku izgradnje, na načine povećanja broja radnika, mašina, oplate i drugih sredstava koji bi nam omogućili brži rad, da ne koči naredne aktivnosti i tako da smanjimo nepredviđene dodatne troškove. Posle urađenog praćenja izvođenja radova na stambeno – poslovnom objektu u Modriči vidimo da u određenim pozicijama radova postoji potreba za povećanjem broja određenih radnika, zavisno od njihove kvalifikacije i pozicije rada.

Dodavanjem broja radnika skrat ćemo ukupno vrijeme izvršenja pozicija na kojim smo primjetili kašnjenje. Ukoliko nemamo veći broj radnika na raspolaganju, primorani smo za uvođenjem dodatne radne smjene ili iznajmljivanje radnika od drugog preduzeća.

Što se tiče potreba za dodatnim resursima u obliku mehanizacije imamo potrebu za dodavanjem autopumpe prilikom pozicija betoniranja na kojima je primjećeno kašnjenje, kao i dodavanjem toranjske dizalice ili autodizalice koja će ubrzati izvođenje pozicija za koje je potrebna.

Troškovi dodavanja resursa u obliku radne snage i mehanizacije će biti povećani, ali radovi će biti vjerovatno završeni u planiranom roku.

5. LITERATURA

- [1] Trbojević, B.: „Organizacija građevinskih radova“, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
- [2] Ivković, B., Popović, Ž.: „Upravljanje projektima u građevinarstvu“, Građevinska knjiga, Beograd 2005.
- [3] Mučenski, V., „Teorijske osnove bezbjednosti i zdravlja na radu u građevinarstvu“, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad, 2018.
- [4] Perčević, H., „Troškovi i klasifikacije troškova“, 2012., [internet] paspoloživo na: http://web.efzg.hr/doc/RAC/hpercevic/poslovno_planiranj_e/tro%C5%A1kovi%2i%20kriteriji%20klasifikacije%20tro%C5%A1kova.pdf

Kratka biografija:



Vladan Sarkić rođen je u Doboju 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Organizacija i tehnologija građenja odbranio je 2023.god.
kontakt: sarkic992@gmail.com

UNAPREĐENJE PUTNE INFRASTRUKTURE PRIMENOM BIM METODOLOGIJE U RAZLIČITIM FAZAMA ŽIVOTNOG CIKLUSA OBJEKTA

IMPROVING TRANSPORT INFRASTRUCTURE THROUGH THE APPLICATION OF BIM METHODOLOGY IN DIFFERENT PHASES OF THE OBJECT'S LIFECYCLE

Emrah Muhović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Transportna infrastruktura je jedna od ključnih delova društvenog i ekonomskog prosperiteta zemlje. U ciju usavršavanja infrastrukture pribegava se mnogim novim tehnologijama među kojima se izdvaja BIM metodologija. Ovaj rad je upravo zasnovan na analizi primene BIM metodologije u izgradnji infrastrukturnih objekata. U radu su objašnjeni osnovni pojmovi vezani za BIM metodologiju uopšteno, a zatim i na bazi putogradnje detaljnije uz navođenje primera primene BIM-a u svetu.

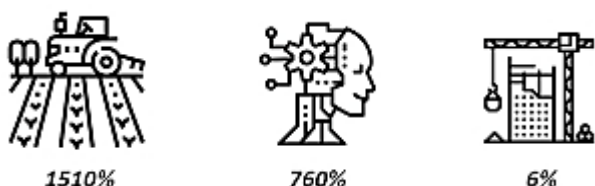
Ključne reči: BIM, Putogradnja, IFC, Objekat

Abstract – Transport infrastructure is one of the key parts of a country's social and economic prosperity. In order to improve the infrastructure, many new technologies are used, among which the BIM methodology stands out. This work is precisely based on the analysis of the application of BIM methodology in the construction of infrastructure facilities. The paper explains the basic terms related to the BIM methodology in general, and then on the basis of road construction in more detail, citing examples of the application of BIM in the world.

Keywords: BIM, Road construction, IFC, Building

1 UVOD

Građevinska industrija neprestano ima interes da učini proces izgradnje efikasnijim, razvoj tokom industrijskih revolucija zaostaje u odnosu na druge industrijske grane. U poslednjih 70 godina ako napravimo paralelu između nekoliko profesija kao što su: poljoprivreda, robotika, građevinarstvo možemo videti da rast produktivnosti kada je u pitanju građevinarstvo drastično zaostaje za ostalim profesijama u pogledu modernizacije (Slika 1) [1].



Slika 1 Produktivnost izravana u procentima za poslednjih 70 godina u različitim profesijama.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Peško, vanr. prof.

Ova zaostajanja su rezultat složenosti i jedinstvenosti građevinskih projekata.

Proučavanjem ograničenja u kojima se realizuju građevinski projekti, kao što su vreme, troškovi i obim, dolazimo do podataka da 70% projekata prekoračuje zadate rokove, a 72% prekoračuje budžet [2].

Kada je u pitanju produktivnost, samo 10% aktivnosti koje se sprovode tokom izgradnje doprinosi stvaranju vrednosti za sam projekat, dok u drugim granama taj broj iznosi 62%.

Za rešavanje navedenih problema potrebno je smanjiti nepotrebne aktivnosti na razumnu meru, kao i preusmeriti fokus efikasnosti sa resursa na protok informacija i, što je najvažnije, integraciju procesa. Jedno od rešenja za ovaj problem leži u BIM (Building Information Modeling) metodologiji.

2 BIM METODOLOGIJA

BIM (Building information modeling) je proces ili metod upravljanja informacijama koje se odnose na objekte (postojeće i nove) koristeći uobičajene digitalne prikaze fizičkih i funkcionalnih karakteristika tih objekata [3]. BIM je koncept koji obuhvata šire područje od samo softvera ili 3D modela.

To je filozofija upravljanja i realizacije celokupnog projekta. BIM predstavlja digitalni integrisani model informacija o postojećem ili budućem građevinskom objektu [4].



Slika 2 BIM - koncept koji obuhvata šire područje od samo softvera ili 3D modela [4].

BIM pristup se može posmatrati kao tehnologija i metodologija. Kao tehnologija, BIM predstavlja digitalnu reprezentaciju fizičkih i funkcionalnih karakteristika građevine. Kao metodologija, BIM omogućava saradnju između različitih učesnika u različitim fazama životnog ciklusa građevine [3].

BIM princip pruža brojne mogućnosti i benefite kao što su: 3D vizualizacija, upravljanje izmenama, manipulacija podacima, simulacije objekata i mnoge druge.

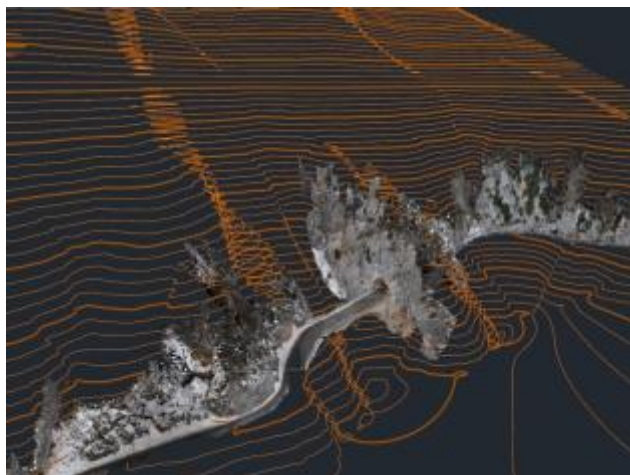
3 BIM U PUTOGRADNJI

U građevinskoj struci veruje se da je primena BIM metodologije u oblasti visokogradnje (zgradarstvu) razvijenija nego u oblasti infrastrukture. Prema istraživanju [5] broj ukupnih radova vezanih za infrastrukturne projekte u 2016-oj godini iznosi 178, a za projekte konstrukcije 2816, na osnovu ove informacije vidi se da je istraživanje vezano za infrastrukturne projekte u velikom zaostatku. Danas se broj radova povećao, ali i dalje zaostaje u poređenju sa istraživanjima vezanim za konstrukcije. Osim toga, rezultati pokazuju da uprkos ograničenjima i prazninama, upotreba BIM-a za infrastrukturu transporta raste.

3.1 Faza projektovanja

Primena BIM-a u projektima putne infrastrukture uglavnom je bila usmerena na geometrijsko projektovanje puteva, gde se naporu fokusiraju na poboljšanje, automatizaciju i optimizaciju geometrije putnih projekata [6].

Tradicionalni način izrade autoputeva je započinjao izradom 2D crteža idejnog projekta, glavnog projekta i građevinske dokumentacije. Svaki korak je završen pre nego što počne sledeći. Ovakav pristup funkcioniše dobro dok ne dođe do potrebe za promenom projekta. Dok se primenom BIMa za projektovanje puteva i autouteva počinje izradom kvalitetnih 3D podloga terena, kao što su digitalni model površi (DSM) i digitalni model terena (DTM) (Slika 21) DTM predstavlja modeliranu mrežu sa vrednostima nadmorskih visina na svakom čvoru. Ove prirodno nepravilne površine ne podležu parametarskom modelovanju, već veštačke površine nastale inženjerskim dizajnom, kao što su npr. površine puteva.



Slika 3. Digitalni Model Terena(DMT)

3.1.1 Softveri

Kvalitetna primena BIM-a ne bi bila moguća bez primene BIM sertifikovanih softvera, koji su ključni za uspešno upravljanje i realizaciju BIM projekata. Ovi softveri pružaju različite funkcionalnosti i alate koji podržavaju sve faze životnog ciklusa infrastrukturnih projekata.

Organizacija bulidingSmart sprovodi sertifikaciju BIM softvera i na svojoj stranici se nalazi njihov popis [3] među kojima se nalaze Autodesk Infraworks, Autodesk Civil 3D, Bentley OpenRoads, and Bentley OpenRail kao i CGS Labs Plateia i BEXEL Manager. Važno je

napomenuti da neki od alata (kao što je Autodesk CivilCAD 3D) i dalje koriste CAD softver kao njihovu osnovnu geometrijsku mašinu. Ovo ograničava njihove sposobnosti da odražavaju ponašanje objekta i nameru dizajna, što je jedna od ključnih karakteristika BIM platformi [6].

3.2 Faza izgradnje

Za inženjere na terenu, BIM koristi GPS zapisivanje, mobilno računarstvo što pruža pristup najnovijim informacijama o projektu i modelima [7]. Ograničeni budžeti za istraživanje i razvoj sprečavaju kompanije da troše sredstva na digitalna rešenja.

BIM, IoT ili različite tehnologije senzora pružaju nove mogućnosti tokom izgradnje puteva poboljšavajući efikasnost prenosa informacija uz smanjenje potrošnje resursa. Sabijanje (kompakcija) je jedan od najkritičnijih koraka u procesu izgradnje puta. Tradicionalne metode kontrole kvaliteta i osiguranja kvaliteta oslanjaju se na ručnu kontrolu sabijanja na licu mesta i testiranje nakon sabijanja, što dovodi do nepouzdatih rezultata testiranja.

Tehnologija inteligentne kompakcije (IC) je u razvoju. Koristi visokoprecizne uređaje postavljene na vibracioni valjak i prati kretanje bubnja dok ocenjuje kvalitet sabijanja tokom izgradnje [8].

Uz pomoć mnogih alata kojima program raspolaže izvršena je vizuelna obrada 3D modela, izrada pogleda i animacija kao i suštinska animacija dinamičkog plana, samim tim 4D model. Dodatno, različite veb i mobilne aplikacije danas omogućavaju praćenje izgradnje i stvaranje baze podataka koju svi učesnici projekta mogu ažurirati u bilo koje vreme. Podaci uneti u bazu podataka prikazuju se tabelarno i na geografskoj mapi. Na taj način, svi učesnici su uključeni u proces izgradnje, a komunikacija među njima je pojednostavljena. Rezultat je efikasno praćenje, optimizacija procesa izgradnje i bolja kontrola izvedenih radova. Kontinuiranim praćenjem izgradnje objekta, moguće je izbeći greške i smanjiti rizik od nedostatka kvaliteta. Ovo BIM rešenje u oblaku je odlična platforma za prikazivanje svih podataka koji se odnose na proces izgradnje i konstantno se prilagođava potrebama učesnika.

3.3 Faza održavanja

Većina informacija o izgrađenom putu čuva se u velikom broju papirne dokumentacije koja se pored velikog obima nekada ni ne poklapa sa stvarnim stanjem objekta. Međutim, BIM nudi jedan model (model za evidenciju) za čuvanje svih podataka o konstrukciji i njenim sistemima, komponentama, opremi. Konkretno, kada model bude generisan od strane projektnog tima i ažuriran tokom faze izgradnje, može postati model izgrađenog objekta koji se zatim predaje vlasniku. Informacije koje pruža model mogu biti iskorišćene za dalju upotrebu od strane menadžera objekata, čime su operacije i održavanje objekta efikasniji. Potražnja za podacima o upravljanju imovinom prepoznata je kao jedna od važnih komponenti u isporuci koja koristi BIM kako za nove objekte tako i za postojeće koji se ažuriraju i održavaju. BIM sistem može pomoći odgovornim osobama da lociraju i kontinuirano identifikuju potencijalne opasnosti i druge hitne situacije i pruže specifične informacije u slučaju katastrofe,

proceniti gubitke istih ili ih simuliraju i testiraju planove reakcija.

4 PRIMENA BIM METODOLOGIJE U IZGRADNJI PUTEVA

Jedana od velikih prednosti BIM-a je njegova mogućnost upotrebe u razvoju i implementaciji obimne dokumentacije i šablona, koji pomažu da projekat bude zasnovaniji na podacima. Pristup otvorenih podataka se koristi da bi se obezbedio efikasan prenos informacija između različitih zainteresovanih strana i grupa. Sve informacije se čuvaju u centralnoj bazi podataka koja će se koristiti tokom celog operativnog perioda projekta, a glavni format razmene je u tipu koji se može prevoditi između svih softverskih programa. Sve informacije su kreirane i organizovane na isti način, tako da su razumljive u različitim disciplinama i dizajnerskim kompanijama. Svi ovi aspekti čine da se projekti na kojima se koristi BIM odvijaju na pojednostavljen način koji štedi vreme i rad.

U radu [9] istražuje se implementacija BIM metodologije u analizi kolovozne konstrukcije. Iako je BIM pokazao pozitivne rezultate u projektovanju puteva, zaostaje u strukturalnoj analizi kolovozne konstrukcije. Koristeći alat Dynamo, izgrađen je trodimenzionalni model puta sa kontrolisanim parametrima kolovoza. Implementiran je Python temeljen na Dynamo, koji povezuje model sa Mehanističko-Empirijskim Vodičem za Dizajn Kolovoza (MEPDG), omogućavajući analizu strukture kolovoza unutar BIM okruženja.

U radu su prikazane različite dubine tragova u zavisnosti od opterećenja i debljine slojeva, pokazujući da tanji fleksibilniji sloj pruža manje prostora za deformaciju. Osim toga, predložena su dalja istraživanja poput provere umora od pucanja i vertikalnog pritiska.

Sledeći od projekata je na Kojima je primenjen Bim je **Rail Baltica** koji predstavlja širok železnički projekat koji ima za cilj integraciju baltičkih država u širu evropsku železničku mrežu. Finansira ga Evropska unija zajedno sa državama Estonija, Letonija i Litvanija, a obuhvata izgradnju 870 km koloseka i više od 400 novih mostovskih konstrukcija. Proces digitalizacije Rail Baltica projekta je sproveden kroz implementaciju BIM pristupa koji je usmeren na efikasnost i napredak u AEC industriji. Za ostvarenje postavljenih ciljeva, definisani su određeni principi koji obuhvataju korišćenje BIM modela pre izgradnje, smanjenje gubitka informacija tokom životnog ciklusa objekta, proširenje upotrebe BIM-a izvan 3D modela, kao i implementaciju tehnologija, metodologije i BIM kulture koja podržava ove ciljeve [10].



Slika 4 Planned BIM implementation timeline

Izgradnja, održavanje i projektovanje tranzitnih sistema u urbanim centrima guste naseljenosti predstavljaju jedinstvene izazove i složenosti. U kontekstu postojećeg tranzitnog sistema u Kalgariju, "Zelena linija" predstavlja izazovne mogućnosti izgradnje nove tranzitne linije, koja će biti treća linija u tranzitnom sistemu lako dostupne železnice C-Train. Projekat zahteva BIM pristup kako bi se efikasno koordinisalo višestruko planiranje, dizajniranje i procena izgradnje, uz pažljivo razmatranje uticaja na grad i njegovo stanovništvo. Iako je finansiranje projekta neizvesno, očekuje se da će "Zelena linija" biti otvorena do 2026. godine [11].



Slika 5 Putem punog tunela linija LRT prolazi pod zemljom od 20th Avenue.

Razvoj "otvorenog BIM-a" za integrisano upravljanje građevinom napredovao je za vertikalnu infrastrukturu, ali nije rešio pitanje interoperabilnosti za horizontalnu infrastrukturu. Studije slučaja su pokazale primenu digitalne razmene informacija u izgradnji železničkih objekata, pri čemu su australijski projekti fokusirani na razmenu dizajna zasnovanog na objektima i strin-govima, dok je malezijski projekat integrisao građevinski CAD model i GIS podatke. Obe studije su identifikovale izazove interoperabilnosti, posebno u kontekstu horizontalne infrastrukture.

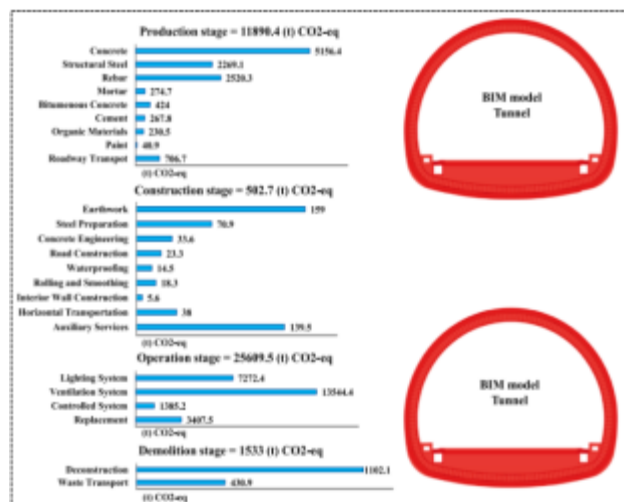
Za uspeh "otvorenog BIM-a" u horizontalnoj infrastrukturi, ključno je unaprediti interoperabilnost između različitih sistema, modela i alata. Globalni naponi za razvoj otvorenih standarda i modela zasnovanih na objektima podržavaju vertikalnu infrastrukturu, ali nedostatak standardizacije predstavlja izazov za vlasti koje teže efikasnim digitalnim sistemima za izgradnju železnica. U budućnosti, istraživači trebaju istražiti potrebe za razmenom informacija u ovakvim projektima, a usklađivanje sa standardima poput Industrijske Fondacije Klasa (IFC) može poboljšati interoperabilnost različitih modela zasnovanih na objektima i GIS modela [12].

U ovom opisu, predstavljena je analiza studije slučaja koja ističe značaj upotrebe metodologije BIM (Building Information Modeling) u dizajniranju i održavanju infrastrukturnih projekata, kao što je brza železnička pruga. Primena BIM metodologije omogućila je dizajnerima da obuhvatnije ispituju parametre koji su uključeni u projektovanje i analiziraju buduće implikacije u vezi sa troškovima održavanja tokom radnog veka infrastrukture. Takođe se ističe značaj integracije alata za dizajn usklađivanja sa softverom za upravljanje budžetom i razvoja višekriterijumske analize radi izbora najbolje opcije među alternativama. Rezultati pokazuju da primena BIM metodologije može dovesti do značajne uštede troškova održavanja i boljih odluka u fazama dizajna, izgradnje i operativne faze infrastrukturnog projekta.

Važno je istaći potrebu za neprekidnim unapređenjem kompatibilnosti BIM softvera i olakšavanjem podaka između faza projekta.

U ovom opisu, predstavljeno je istraživanje koje se bavi razvojem PLCCA modela (Proactive Life-Cycle Carbon Assessment) koji integriše aspekte održivosti u proces dizajna infrastrukture. Ovo istraživanje ocenjuje uticaj emisija ugljenika u različitim fazama životnog ciklusa infrastrukture, ali ističe neka ograničenja i mogućnosti za nadogradnju modela.

Upotreba PLCCA modela uz pomoć BIM alata omogućava dizajnerima da procenjuju ekološki uticaj dizajna, što im omogućava da donesu upravljene dizajnerske odluke na osnovu informacija o ugljeničnom otisku. Ipak, ograničenja u kreiranju i harmonizaciji podataka, kao i u statičkim metodama računanja, naglašavaju potrebu za unapređenjem i razvojem modela kako bi se uključili dinamični aspekti ugljeničnog otiska i drugi faktori kako bi se dobili kompletniji uticaji na životnu sredinu, uključujući ekonomske i društvene aspekte. Kako bi se ovo postiglo, predloženo je da buduća istraživanja eliminišu ručne korake u procesu harmonizacije podataka i uključe dinamične aspekte ugljeničnog otiska i različite ekološke indekse, kako bi se obuhvatili različiti aspekti uticaja na životnu sredinu [13].



Slika 6 Trakasti grafikoni emisija ugljenika u BIM okruženju

5 ZAKLJUČAK

BIM (Building Information Modeling) predstavlja značajnu tehnologiju za efikasno i održivo upravljanje transportnom infrastrukturom. Ovo uključuje bolju koordinaciju između različitih učesnika projekata, smanjenje konflikata u ranoj fazi projekta, efikasnije projektovanje i bolje praćenje stanja konstrukcije. Međutim, potrebno je usaglasiti standarde i prakse, kako bi se ostvario pun potencijal BIM-a. Transportna industrija ima priliku da unapredi svoje infrastrukturne projekte korišćenjem ove tehnologije i da stvori održivije građevinske rešenja za buduće generacije.

6 LITERATURA

- [1] <https://www.youtube.com/watch?v=eb4DsnSZSuk&t=66s&abchannel=Gradnja>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=gU62ez3eWIU>
- [3] PUTplus 2023/2024; Beograd 2023; ISSN 2335-0474
- [4] [What is BIM? - YouTube](#)
- [5] A. Bradley, H. Li, R. Lark, and S. Dunn, "BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective," *Automation in Construction*, vol. 71, pp. 139–152, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.08.019.
- [6] [REVIT BIM Services, Revit Drafting, Revit Modeling India](#)
- [7] Jan Koeleman and others, "Decoding digital transformation in construction", McKinsey & Company, 20 August 2019.
- [8] Tao Han, Tao Ma, Zhou Fang, Yang Zhang, Chengjia Han, (2022). A BIM-IoT and intelligent compaction integrated framework for advanced road compaction quality monitoring and management. (*Computers and Electrical Engineering*, April 2022, doi:https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107981)
- [9] F. Jiang et al., "Building demolition estimation in urban road widening projects using as-is BIM models," *Automation in Construction*, vol. 144, p. 104601, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104601.
- [10] [Rail Baltica and BIM: What Students Should Know \(digitalschool.ca\)](#)
- [11] [A Look at Calgary's Green Line for Students in BIM Courses \(digitalschool.ca\)](#)
- [12] https://www.researchgate.net/publication/305309325_BIM_Interoperability_Limitations_Australian_and_Malaysian_Rail_Projects
- [13] M. Hussain, B. Zheng, H.-L. Chi, S.-C. Hsu, and J.-H. Chen, "Automated and continuous BIM-based life cycle carbon assessment for infrastructure design projects," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 190, p. 106848, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106848.

Kratka biografija:



Emrah Muhović rođen je u Prijepolju 16.08.1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo "Unapređenje putne infrastrukture primenom BIM metodologije u različitim fazama životnog ciklusa objekta" odbranio je 2023.god.

Kontakt: muhovic.g126.2022@uns.ac.rs

ПРЕФАБРИКОВАНИ ЕЛЕМЕНТИ – БЕХАТОН И ИВИЧЊАЦИ У НИСКОГРАДЊИ PREFABRICATED ELEMENTS - BEHATON AND CURBS IN CIVIL ENGINEERING

Мирко Бурсаћ, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – Грађевинарство

Кратак садржај – У оквиру завршеног рада дате су теоријске основе префабрикованих елемената за поплочавање, ивичњака, њихов значај и њихова основна подела. Наведени су материјали који се користе за израду префабрикованих елемената, као и њихове димензије. Приказане су врсте испитивања које су урађене за префабрикавање елемената бехатон и за ивичњаке.

Кључне речи: нискоградња, префабриковани елементи бехатон и ивичњаци

Abstract – Within the framework of the completed work, the theoretical foundations of prefabricated elements for placement, curbs, their importance and their basic division are given. The materials used for the production of prefabricated elements, as well as their dimensions, are listed. The types of tests performed for prefabrication of behaton elements and curbs are shown

Keywords: Low-rise construction, behaton and curbs, prefabricated elements.

1. УВОД

Префабриковани елементи као што су бехатон и ивичњаци играју кључну улогу у грађевини тј. у нискоградњи, посебно у изградњи путева, пешачких стаза и других инфраструктурних пројеката. Бехатон је врста префабрикованог бетонског блока који су често правоугаоног или квадратног облика са глатком или храпавом површином који се често користе за поплочавање површина.

Они су направљени од бетона високе чврстоће што их чини веома издржљивим и способним да издрже тешка оптерећења, тешке временске услове и саобраћај. Та издржљивост обезбеђује дуговечност поплочаних површина смањујући улагања и трошкове одржавања током времена. Бехатон блокови долазе у различитим бојама, текстурама и величинама, које омогућавају једноставно постављање смањујући трошкове рада и време изградње.

Многи бехатон блокови производе се коришћењем рециклираних материјала, што доприноси одрживости у грађевинским пројектима.

НАПОМЕНА:

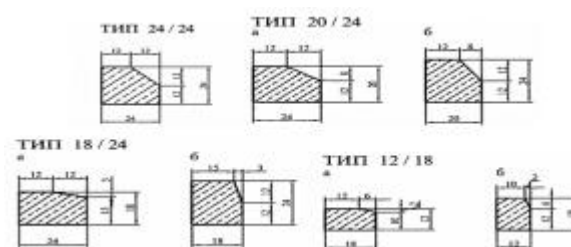
Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Милош Шешлија.

Ивичњаци су префабриковани или ливени бетонски или камени елементи постављени на ивицу коловоза тротоара и паркинга. Они помажу у раздвајању саобраћајних трака, спречавајући возила да уђу на тротоаре и у пешачке зоне. Побољшавају безбедност на путу и обезбеђују несметан ток саобраћаја. Ивичњаци су кључни у управљању токова атмосферских вода усмеравајући их на системе за одводњавање, спречавајући ерозију и смањујући ризик од поплава. Добро дизајнирани ивичњаци такође могу побољшати визуелну привлачност уличних пејзажа и урбаних подручја. Ивичњаци су неопходни за стварање приступачне инфраструктуре и неопходни су у пројектима нискоградње. Као и бехатон блокови нуде издржљивост, ефикасност, разноврсност истовремено доприносећи безбедности управљању атмосферским водама и естетици [1].

2. ПРЕФАБРИКОВАНА ПРАТЕЋА ОПРЕМА ЗА ОИВИЧЕЊЕ И ПОПЛОЧАВАЊЕ КОЛОВОЗА

2.1 Префабриковани елементи за оивичење коловоза

Коловозне површине које су намењене за кретање возила оивичене су основним елементима – ивичњацима који имају улогу да својом висином физички одвајају коловоз и остале површине. На тај начин они обезбеђују адекватно отицање воде, а притом не представљају значајнију сметњу приликом кретања возила. Стандардна висина ивичњака износи 12 cm. Ивичњак се израђује у фабрици од бетона МБ40 или МБ50 са видним површинама које се могу правити од белог бетона. Такав ивичњак је намењен за оивичење коловоза примарне градске путне мреже и то са или без разделних трака, као и за паркиралишта. Уобичајена дужина ивичњака износи 80 cm до 100 cm док је ширина ивичњака димензије 20/24 или 18/24. Тип ивичњака 20/24 има закошено лице док ивичњак 18/24 има равно лице [1].

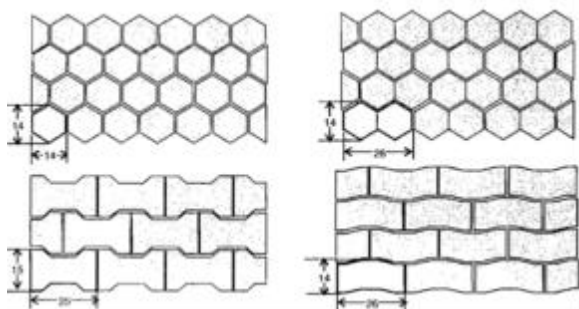


Слика 1. димензије стандардних бетонских ивичњака

2.2. Префабриковани елементи за поплочавање

Префабриковани елементи за поплочавање уграђују се на слој песка без или са заливањем спојница. Највећа пажња посвећује се код полагања елемента и обликовању веза са комуналним инсталацијама. Углавном су у питању елементи са односом страница $a/b=1/1, 1/1.5$ и $1/2$.

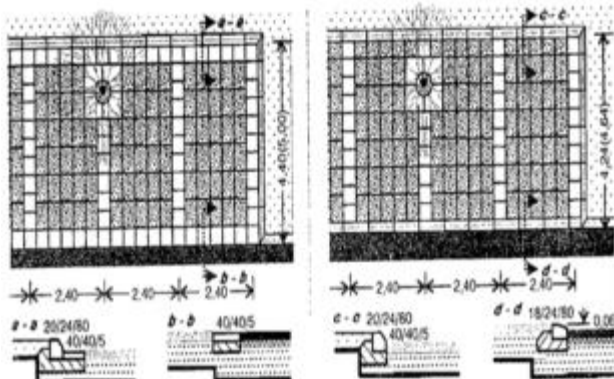
У данашње време производе се и другачији елементи за већу носивост, стабилност и трајност поплочане површине уз бољу естетику. Пар типова ових елемената приказани су на слици 2, [1].



Слика 2. Префабриковани елементи за поплочавање

Код свих врста елемената за поплочавање јавља се проблем прилагођавања кривинским облицима с тим што је код квадратних и код правоугаоних елемената најизраженији. У одређеним условима примењују се комбиновани елементи бетон трава за поплочавање великих паркинга за привремену употребу као и сервисних саобраћајница.

Однос бетона и травнате површине је најчешће 2:1. Коришћење префабрикованих елемената у случају бетон трава треба обратити пажњу на то да они нису погодни за пешаке и да представљају и потенцијалну опасност због постојећих отвора који могу бити прекривени травом где је за интензивно коришћење потребно ставити плоче за кретање пешака [1], [2].



Слика 3. Типска оивичења и обрада паркинг простора са елементима бетон трава

2.3 Доступни материјали који се користе за израду префабрикованих материјала

У сврху израде блокова могу се користити различити материјали. За израду горњег слоја, користе се цемент, доломит прах и фарба, док се за доњи слој користе цемент, фини агрегат (4.75 mm-150 mm) и камена ситнеж (<4.75mm). Углавном се користи

Портланд цемент, који се меша са агрегатом у адекватној размери, приликом чега се додаје и адекватна количина воде.

Доломит се меша са цементом и фарбом помоћу мешалице, а потом се полаже у калупе. Основна улога доломита јесте да унесе потребну боју на површини блока [1].

2.4 Димензије префабрикованих елемената

Најобимније димензионисање колвоза од бетонских елемената је креиран у складу са Aashto методом за флексибилне конструкције, приликом чега се водило рачуна о особинама материјала у горњем и доњем носећем слоју, заменском слоју (уколико га има) у постељици, као и у слоју који је сачињен од хидроизолационог материјала (према потребама).

Главни проблем када је у питању димензионисање материјала, јесте приказ застора од блокова и слоја песка. Према бројним истраживањима, сложени моду (блок+ песок) после изградње би требао да износи око 350 Мпа, а након 10000 понављања прелаза уобичајеног оптерећења требало би да износи око 3100 Мпа. Коефицијент носивости сложеног слоја (блок+ песок) износи:

$e_{b/s}$ - модул сложеног слоја [psi] (psi = 0.0069 Мпа),

$\alpha_{b/s}$ - коефицијент сложеног слоја.

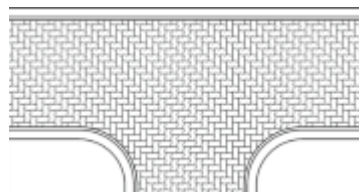
Модул сложеног слоја сличан је и за асфалт једнаке дебљине. У поређењу са асфалтом, коловоз сачињен од бетонских елемената не опада како расте температура, а не постаје ни ломљив како температура опада. Препоручене марке бетона у односу на саобраћајна оптерећења у нашим условима, дате су у Табели 2.

Саобраћајно оптерећење	МВ(МПа)
Врло тешко	40
Тешко	35
Остало	30

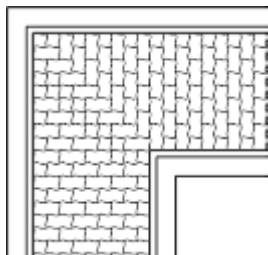
Тип материјала у подлози	Е (МПа)
Цементом стабилизован шљунак	7000 - 14000
Цементом стабилизован локални материјал	3500 - 7000

2.5 Могућност полагања префабрикованих бетонских елемената

Префабриковани бетонски елементи на деловима пута где се врши раздвајање коловоза или кривина, могу се поставити на различите начине, а најчешће укључују:



Слика 4. Непромењени шема и угао приликом постављања



Слика 5. Непромењена шема али промењен угао за постављање

3. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА ОТПОРНОСТИ

У испитивању су вршене анализе бетона од којег су израђени ивичњаци и префабриковани материјали и представљају следећа испитивања: Отпорност на затезање при савијању, отпорност на хабање.

3.1 Отпорност бетонских ивичњака при савијању

Oznaka ispitnog uzorka / Mark of test sample	Datum ispitivanja / Date of test	Starost betona na dan ispitivanja / Concrete Age on Test Day (dan/day)	Moment lencije / Second moment, [cm ⁴]	Plastično odzivanje / Plastic strain, [mm]	Plastično odzivanje od testiranja / Plastic strain from test, [mm]	Sila loma / Failure load, [N]	Čvrstoća pri zatezanju savijanjem / Bending strength, [MPa]	
							pojedinač / individual	srednja / average
B81	17.02.2022	36	103696388	808	88.18	28450	5.3	5.7
B82	17.02.2022	36	103696388	808	88.18	30860	5.8	
B83	17.02.2022	36	102924430	808	88.09	31250	5.9	
Uslov kvaliteta prema standardu / Quality requirement according to standard: SRPS U.N2.060:1989 t.6.2**							≥ 4.0	≥ 5.0

Слика 6. Одређивање бетонске чврстоће при затезању, савијањем

Приликом анализе узето је 3 узорка. Метода која је коришћена је SRPS U.N2060: 1989 t.6.2. Добијени резултати испитивања крећу се у границама од 5,3 до 5,9. Према истраживању, сва три узорка бетонских ивичњака испунили су услов квалитета чврстоће у складу са стандардом, који износи $\geq 4,0$ за појединачни узорак и $\geq 5,0$ за сва три узорка.

3.2 Отпорност бетонских ивичњака на хабање

Oznaka ispitnog uzorka / Specimen mark	Datum ispitivanja / Date of test	Starost betona na dan ispitivanja / Concrete age on test day (dan/day)	Epruvete pre habanja / Specimens before wearing					Epruvete posle habanja / Specimens after wearing					Otpornost prema habanju / Wearing resistance [mm ³ /50 cm ²]
			Dimenzije / Dimensions [cm]	Debljina / Thickness [mm]	Debljina / Thickness [mm]	Debljina / Thickness [mm]	Debljina / Thickness [mm]	Dimenzije / Dimensions [cm]	Debljina / Thickness [mm]	Debljina / Thickness [mm]	Debljina / Thickness [mm]	Debljina / Thickness [mm]	
H1	21.02.2022	40	6.95	6.98	6.98	338.5	708.3	2.395	6.7	680.9	36.4	8.5	8.1
H2	21.02.2022	40	6.96	6.97	6.98	338.6	712.2	2.303	6.7	685.8	36.4	7.6	
H3	21.02.2022	40	6.99	6.97	6.98	340.1	705.9	2.376	6.72	686.3	37.6	8.3	
Uslov kvaliteta prema standardu / Quality requirement according to standard: SRPS U.N2.060:1989 t.5.5**													≤ 21 ≤ 38

Слика 7. Испитивање отпорности према хабању брушењем на узорцима бетонских ивичњака

Приликом анализе узето је 3 узорка. Метода која је коришћена је В-В8 015: 1984. Добијени резултати испитивања крећу се у границама од 7,6 до 8,5 са средњом вредношћу од 8,1. Услов квалитета према стандарду са аспекта отпорности на хабање бетонских ивичњака у овом случају су испуњени.

3.3 Отпорност префабрикованих елемената при савијању затезањем

Oznaka ispitnog uzorka / Mark of test sample	Datum ispitivanja / Date of test	Starost betona na dan ispitivanja / Concrete Age on Test Day (dan/day)	Dužina loma / Failure length [mm]	Debljina bloka na mestu ravnog loma / Thickness of the block at the failure plane [mm]	Korektivni faktor za debljinu bloka / Correction factor for block thickness	Opterećenje pri lomu / Failure load (N)	Opterećenje pri lomu po jedinici dužine / Failure load per unit length, (N/mm)	Čvrstoća pri zatezanju cepanje / Tensile splitting strength, (MPa)	
								pojedinač / individual	srednja / average
B81	23.02.2022	40	200	100	1.11	104100	520	3.7	3.8
B82	23.02.2022	40	200	99	1.11	115780	580	4.1	
B83	23.02.2022	40	200	99	1.11	110320	550	3.9	
B84	23.02.2022	40	199	99	1.11	105620	530	3.8	
B85	23.02.2022	40	200	100	1.11	102980	510	3.6	
B86	23.02.2022	40	200	100	1.11	103520	520	3.7	
B87	23.02.2022	40	200	99	1.11	111200	560	4	
B88	23.02.2022	40	200	100	1.11	108620	540	3.9	
Uslov kvaliteta prema standardu / Quality requirement according to standard: SRPS EN1269:2012 t.5.3**							≥ 2.50	≥ 2.9	≥ 3.6

Слика 8. Одређивање чврстоће при затезању, цепањем

Приликом анализе узето је 8 узорка. Добијени резултати испитивања крећу се у границама од 3,7 до 4,1. Средња вредност отпорности узорака износи 3.8. Према истраживању, свих осам узорака бетонских елемената за поплочавање испунили су услов квалитета чврстоће у складу са стандардом, који износи $\geq 2,9$ за појединачну вредност и $\geq 3,6$ за средњу вредност свих узорака.

3.4 Отпорност префабрикованих елемената за поплочавање на хабање

Oznaka ispitnog uzorka / Mark of test sample	Datum početka / završetka ispitivanja / Date of start / End of test	Starost betona na dan ispitivanja / Concrete Age on Test Day, (dan/day)	Masa ispitnog uzorka pre habanja / Mass of test sample before abrasion [g]	Zapremin ska masa ispitnog uzorka pre habanja / Density of test sample before abrasion [g/mm ³]	Masa ispitnog uzorka posle habanja / Mass of test sample after abrasion [g]	Gubitak mase epruvete posle 16 ciklusa / Loss in mass after 16 cycles, [g]	Gubitak zapremine epruvete posle 16 ciklusa / Loss in volume after 16 cycles [1000mm ³ /50000mm ²]	
							pojedinač na / individual	srednja / average
H1 ²	23.02.2022	40	732.6	0.00223	723.9	8.7	3731	4117
H2 ²			735.7	0.00222	725.6	10.1	4371	
H3 ²			730.5	0.00218	720.9	9.6	4249	
Uslov kvaliteta prema standardu SRPS EN 1338:2012 F klasa / class 1							bez izmerenih preformansi / no performance measured	
Uslov kvaliteta prema standardu SRPS EN 1338:2012 H klasa / class 3							≤20000	
Uslov kvaliteta prema standardu SRPS EN 1338:2012 I klasa / class 4							≤18000	

Слика 9. Испитивање отпорности на хабање префабрикованих елемената

Приликом анализе узето је 3 узорка. Добијени резултати испитивања крећу се у границама од 3731 до 4249 са средњом вредношћу од 4117. Услов квалитета према стандарду са аспекта отпорности на хабање префабрикованих елемената за поплочавање у овом случају су испуњени.

4. ЗАКЉУЧАК

Префабриковани елементи су се појавили као револуционарно решење за решавање изазова ефикасности и издржљивости. Међу најсвестранијим и најшире коришћеним монтажним елементима су бехатон и ивичњаци. Овај завршни рад истражио је предности за примену ових елемената у савременој грађевини. Бехатон је све популарнији у грађевинарству из неколико разлога:

- Издржљивост и дуговечност
- Естетска привлачност
- Једноставна инсталација
- Одрживост

Ивичњаци су још један битан монтажни префабриковани елемент који се користи у грађевинарству, посебно у путној инфраструктури и пејзажном уређењу. Улоге ивичњака су:

- Контрола саобраћаја
- Отицање атмосферских вода
- Једноставна примена
- Улепшавају стамбене прилазе

Ови монтажни елементи могу да трансформишу уличне пејзаже, прилазне путеве и пројекте пејзажног уређења, побољшавајући укупни квалитет изграђеног окружења. Напредовање грађевинске индустрије, обећава да ће ови монтажни елементи вероватно остати суштинске компоненте иновативних и ефикасних грађевинских пракси [3].

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] М.Малетин, Планирање и пројектовање саобраћајница у градовима, 2009.
- [2] Закон о јавним путевима, Београд (Службени гласник РС бр.-101/2005)”.
[3] Узелац Ђ.: „Путеви и градске саобраћајнице”, ФТН издаваштво, Нови Сад, 2015.

Кратка биографија:



Мирко Бурсаћ рођен је у Шапцу 1997. год. Основне академске студије грађевинарства завршио је 2022. год на Факултету техничких наука. Мастер рад из Грађевинарства – Саобраћајнице одбранио је 2023. године

Контакт:
mirkobursac97@yahoo.com

TRAJNOST BETONSKIH KOMPOZITA SA VISOKIM UDELOM POLJOPRIVREDNOG OTPADA**DURABILITY OF CONCRETE COMPOSITES WITH A HIGH PROPORTION OF AGRICULTURAL WASTE**Filip Sajdl, Slobodan Šupić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U okviru rada urađeno je sopstveno eksperimentalno istraživanje mogućnosti primene pepela kukuruznog oklaska kao zamenjujućeg cementnog materijala pri projektovanju i spravljanju zelenih betona. Rad se sastoji od istraživačkog i od praktičnog dela. U okviru istraživačkog dela su obuhvaćena svojstva koja utiču na trajnost betona, projektovanje trajnosti prema normama za beton EN 206 kao i zahtevi za trajnost betona. U praktičnom delu se govori o potrebi za održivom gradnjom, kao i o mogućnostima primere raznih otpadnih materijala. Posebno je posvećena pažnja na primenu pepela kukuruznog oklaska kao zamene za cement u betonu, što je i glavna tema ovog rada. Urađena je karakterizacija materijala, kao i ispitivanje svojstava svežeg i očvrstlog betona.

Ključne reči: Beton, trajnost, otpadni materijali, karakterizacija, čvrstoća, habanje, poljoprivredni otpad.

Abstract – As part of the paper, an own experimental research on the possibility of using corn cob ash as a replacing cement material in the design and production of green concrete was conducted. This thesis consists of a research and a practical part. The research part includes the properties that affect the durability of concrete, the design of durability according to the EN 206 concrete standards, as well as the requirements for the durability of concrete. The practical part refers to the need for sustainable construction, as well as the possibilities of using various waste materials. Special attention was paid to the use of corn cob ash as a substitute for cement in concrete, which is the main topic of this paper. The characterization of the material was carried out, as well as the testing of the properties of fresh and hardened concrete.

Keywords: Concrete, durability, waste materials, characterization, strength, wear resistance, agricultural waste.

1. TRAJNOST BETONA

Projektovanje trajnosti je bazirano na evropskoj normi EN206 u kojoj su definisane klase izloženosti za opisivanje delovanja okoline. Elementi AB konstrukcija se, za planirani životni vek, svrstavaju u odgovarajuće klase izloženosti.

NAPOMENA:

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

Na osnovu definisanih klasa izloženosti, postavljaju se zahtevi za projektovanje sastava betona: najmanja količina cementa, najveći vodocementni faktor, najmanja klasa čvrstoće betona pri pritisku, najmanja debljina zaštitnog sloja betona a zatim i vrstom komponentnih materijala i ostalih parametara (količina uvučenog vazduha itd.).

Da bi se trajnost konstrukcije i pojedinih njenih elemenata obezbedila, pored definisanja klasa izloženosti i, spram njih, graničnih vrednosti za: najveći vodocementni faktor, najmanju količinu cementa, najmanju klasu čvrstoće pri pritisku i najmanju vrednost zaštitnog sloja betona, potrebno je specificirati i proveriti i određeni broj svojstava betona, koja su direktno povezana sa trajnošću.

To su:

- ❖ Otpornost na prodiranje vode
- ❖ Otpornost na dejstvo mraza
- ❖ Otpornost na kombinovano dejstvo mraza i soli
- ❖ Otpornost na prodiranje hlor jona u beton
- ❖ Otpornost na habanje.

2 PEPEO ŽETVENIH OSTATAKA KAO NUSPRODUKT POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE

Danas se u svetu upotrebljavaju različiti nus-proizvodi generisani iz industrijskih, post-potrošačkih, kao i poljoprivrednih izvora. Biomasa, kao najčešći oblik obnovljive energije, je u širokoj upotrebi u nerazvijenim zemljama, ali značajno manje nego u razvijenom delu svetu. Pod terminom „biomasa“ se podrazumevaju proizvodi, otpadne materije i ostaci organskog porekla (biljnog i životinjskog), koji su biorazgradljivi i predstavljaju sporedni proizvod iz poljoprivredne proizvodnje, procesa prerade drveta ili su otpadni materijali iz industrije ili predstavljaju gradski otpad. Najvažniji ostaci poljoprivredne proizvodnje u svetu su: šećerna trska, ljuska od pirinča, jutana vlakna, kokosove ljuske, pamuk, pšenična slama, sojina slama, ljuska od suncokreta itd. Biomasa je najveći obnovljivi izvor energije, a Srbija se nalazi pri vrhu rang liste evropskih zemalja po količini raspoložive, ali neiskorištene biomase.

2.1 Pepeo kukuruznog oklaska

Prethodna istraživanja su pokazala da pepeo kukuruznog oklaska (PKO) sadrži više od 65% SiO₂, a kumulativno sa Al₂O₃ više od 70%, tako da se može koristiti kao materijal sa pucolanskim svojstvima.

Pepeo od kukuruznog oklaska se u građevinarstvu koristi kao sastojak nekih građevinskih materijala. Neki od primera su:

1.Beton: može se dodati u smesu betona kako bi se smanjila proizvodnja cementa potrebnog za njegovo spravljanje.

2.Malter: može se dodati u malter kako bi se poboljšala njegova sposobnost zadržavanja vode i smanjila potreba za dodatnim vezivima.

3.Keramika: koristi se u proizvodnji keramike jer može smanjiti količinu gline potrebne za proizvodnju i smanjiti emisije CO₂ tokom proizvodnje.

4.Staklo: koristi se u proizvodnji stakla kako bi se smanjila temperatura potrebna za proizvodnju.



Slika 1 - Izgled samlevenog biopepela

3 KARAKTERIZACIJA MATERIJALA

3.1 Podaci o komponentnim materijalima

Cement

Za eksperimentalno istraživanje odabran je Portland cement oznake PC 42,5R (CEM I 42,5R), porekla – fabrika cementa "Lafarge", Beočinska fabrika cementa. Cement ispunjava uslove kvaliteta prema Pravilniku o kvalitetu cementa. U Laboratoriji za ispitivanje građevinskih materijala proverena su osnovna fizička i mehanička svojstva cementa prema standardima SRPS EN 196-1, SRPS EN 196-3 i SRPS EN 196-6.

Agregat

Pri projektovanju sastava malterskih mešavina korišćen je standardni kvarcni pesak (CEN) – tip agregata 1. Granulometrijski sastav određen je metodom prosejavanja, u skladu sa SRPS EN 933-2.

Mineralni dodaci (biopepeo)

Nakon pripreme uzoraka biopepela, ispitana su njihova fizička svojstva: specifična masa, specifična površina po Blenu, te mehanička i pucolanska svojstva: klasa pucolanske aktivnosti i indeks aktivnosti, prema relevantnim standardima. Ispitivanje indeksa aktivnosti je prikazano na Slici 2.

Vrednosti indeksa aktivnosti, pri starostima 28 i 90 dana iznose: 113% i 115%, respektivno. Može se primetiti da je čvrstoća maltera u kojem je 25% cementa supstituisano sa biopepelom prešla čvrstoću referentnog cementnog maltera, što je rezultat filer efekta (pakovanje sitnih čestica pepela u strukturi maltera) i pucolanske aktivnosti samog materijala tokom vremena.

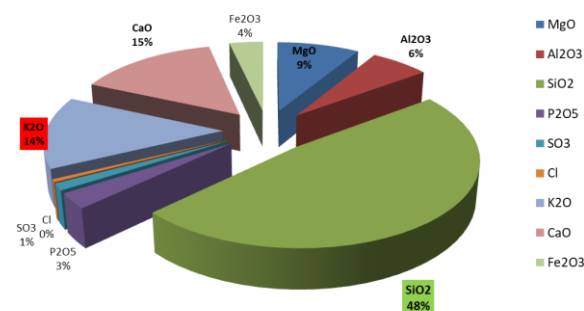


Slika 2 - Ispitivanje indeksa aktivnosti biopepela

Finoća materijala je određena kao procentualni ostatak biopepela na situ 0,045mm. U ovom postupku ispitivanja – „Air Jet“ metodom prosejavanja (prosejavanje vazдушnim putem pod pritiskom) u skladu sa procedurom datom u standardu EN 933-10 – 50g materijala, prethodno osušenog na 110 °C, se prosejava na sito, počevši od sita sa najmanjim otvorom (0,045mm), te se određuje procentualni ostatak na situ.

Imajući u vidu jako mali procentualni ostatak na situ otvora 45mm, ovim je potvrđena jako velika finoća mliva materijala.

Ispitivanje hemijskog sastava biopepela, određivanje sadržaja reaktivnog SiO₂, slobodnog CaO, rastvorljivih fosfata, hlorida i elemenata u tragovima, urađeno je u skladu sa standardima: EN 196-2 i ISO 29581-2. Rezultati su dati na Slici 3.



Slika 3 - Hemijski sastav biopepela

4 PROJEKTOVANJE SASTAVA, SPRAVLJANJE I ISPITIVANJE SVOJSTAVA EKOLOŠKIH CEMENTNIH BETONA

4.1 Projektovanje sastava

Za potrebe ispitivanja projektovane su 4 betonske mešavine:

1. C – referentna betonska mešavina sa 0% udela biopepela
2. B10 – betonska mešavina u kojoj je 10% cementa supstituisano biopepelom
3. B30 – betonska mešavina u kojoj je 30% cementa supstituisano biopepelom
4. B50 – betonska mešavina u kojoj je 50% cementa supstituisano biopepelom

Kao sitni agregat korišćen je rečni agregat, dok je za krupni korišćen reciklirani agregat od starog betona; frakcije 4/8mm i 8/16mm.

Korišćen je tip cementa: CEM I 42,5R, $Y_{s,c}=3100 \text{ kg/m}^3$ i voda iz gradskog vodovoda.

Za sve betonske mešavine je usvojen vodocementni faktor u vrednosti $w=0,45$.

4.2 Spravljanje

Spravljanje betonskih mešavina izvršeno je u laboratorijskoj mešalici za beton. Kod svih receptura sa recikliranim agregatom, 24h pre spravljanja betona, izvršeno je kvašenje agregata količinom vode (dodatna voda) koju agregat može da upije u periodu od 24h.



Slika 4 - Dodavanje komponenti u mešalicu

4.3 Ispitivanje svojstava betona

4.3.1 Konzistencija

Nakon merenja temperature svežeg betona, određivana je konzistencija (metodom sleganja), a zatim je beton ugrađivan u metalne kalupe (oblika kocke). Ugrađivanje je za uzorke oblika kocki rađeno vibriranjem na vibrostolu u trajanju od 30 sekundi.

4.3.2 Zapreminska masa

Zapreminska masa svežeg betona ispitana je prema standardu SRPS ISO 6276 za svaku vrstu betona.

Dobijeni su sledeći rezultati: **C** –2240kg/m³; **B10** –2255kg/m³; **B30** –2243kg/m³; **B50** –2239kg/m³

Sa povećanjem udela pepela, kao zamene dela cementa, sveža betonska mešavina je bila kruća (teže pokretljiva), sa manjom vrednošću sleganja. U cilju dobijanja betona iste konzistencije, povećan je udeo superplastifikatora kod mešavina sa 30 i 50% nivoima supstitucije.

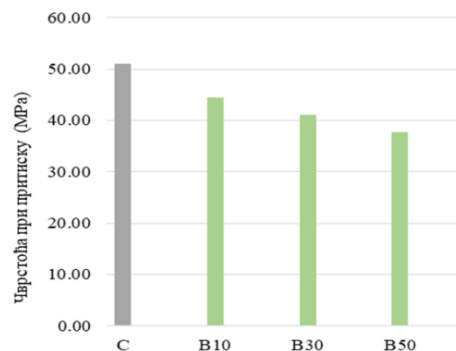
Zamena cementa sa biopepelom nije imala značajan uticaj na zapreminsku masu betona, bez obzira na nivo supstitucije cementa. Razlike u zapreminskoj masi su manje od 5%.

4.3.3 Čvrstoća betona pri pritisku

Ispitivanje čvrstoće betona pri pritisku je obavljeno prema standardu SRPS EN 12390-3 na uzorcima oblika kocke ivice 15cm pri starostima 28 dana, a reprezentativna čvrstoća je određena kao srednja vrednost čvrstoća dobijenih na tri uzorka, za svaku vrstu betona.

Kako se sadržaj biopepela povećavao, pritisna čvrstoća betona je postepeno opadala do nivoa zamene od 50%, što bi se moglo pripisati "dilution" efektu, posebno na višim nivoima zamene (manje čestica cementa dostupnih za

hidrataciju, smanjen broj proizvoda hidratacije i povećana poroznost i propustljivost mešavine).

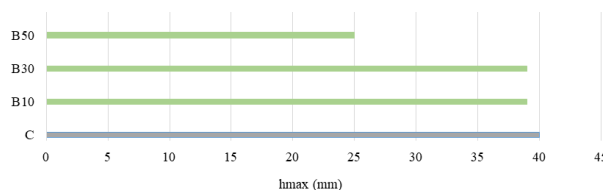


Slika 5 - Čvrstoća pri pritisku

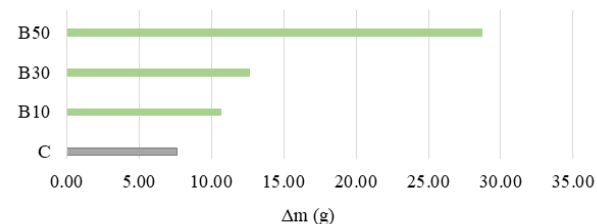
S obzirom na to da su sve vrste betona postigla klasu čvrstoće jednaku ili veću od C30/37, koja se pretežno koristi u savremenom građevinarstvu u Srbiji, može se konstatovati da se konstrukcijski beton može proizvesti korišćenjem velike količine biopepela kao zamene za cement. Pored toga, pucolanska reaktivnost biopepela može značajno doprineti postizanju čvrstoće pri pritisku u kasnijem periodu.

4.3.4 Vodonepropustljivost

Ispitivanje vodonepropustljivosti betona je sprovedeno prema EN 12390-8. Za ispitivanje su korišteni uzorci oblika kocke ivice 150mm. Starost betona na dan ispitivanja je bila 60 dana.



Slika 6 - Dubine prodora vode



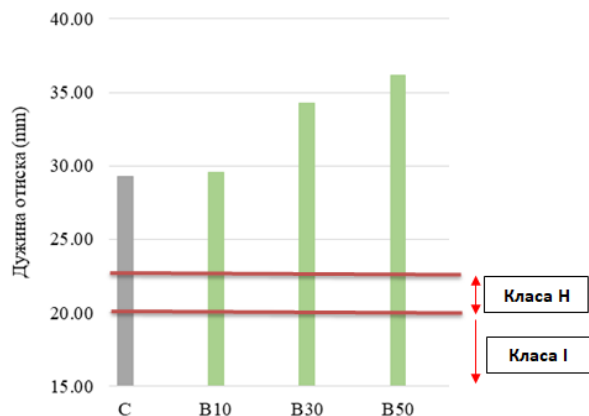
Slika 7 - Srednje vrednosti mase upijene vode

Rezultati ukazuju na kontinuirano opadajući trend dubine prodiranja vode pod pritiskom mešanog betona sa biopepelom i, istovremeno, na veću brzinu upijanja vode. Takav trend se može objasniti efektom punila i pucolanskim svojstvima ugrađenih alternativnih cementnih materijala. Imajući u vidu efekat punila, fine čestice biopepela deluju kao mikro agregati, ispunjavajući praznine u vezivnoj matrici i povećavajući kompaktnost betonske strukture, što dovodi do sporijeg prodiranja vode – Slika 6. S druge strane, usled "dilution" efekta i produžene pucolanske reakcije, do starosti od 28 dana stvara se manja količina produkata hidratacije. Kao rezultat toga, beton karakteriše veća kapilarna poroznost, što dovodi do veće apsorpcije vode kod betona sa

biopepelom – Slika 7. U kasnijem periodu, dodatni C-S-H gel koji nastaje kao rezultat pucolanske reakcije mogao bi da pomogne u popunjavanju pora, smanjujući propustljivost i na taj način smanjujući upijanje vode.

4.3.5 Otpornost na habanje

Otpornost betona na habanje je ispitana na uzorcima oblika kvadra, dužine 150mm, dimenzija poprečnog preseka 50x50mm. Ispitivanje je izvršeno pri starosti betona od 60 dana, prema metodi 'širokog točka', standard: EN1338. Test se zasniva na izlaganju podužne spoljašnje strane elementa abrazivnom dejstvu materijala (kvarcnog peska).



Slika 8 - Dužine otisaka svih betona

Što se tiče uticaja biopepela na otpornost betona na habanje, sa povećanjem sadržaja pepela biomase povećava se širina otiska točka. Ovo je verovatno zbog još ranog stadijuma pucolanske aktivnosti ovog tipa biopepela u vremenu ispitivanja, odnosno poroznije i nedovoljno zbijene betonske strukture.

S obzirom na postignute klase otpornosti na habanje, u skladu sa EN 1338, može se konstatovati da svi ispitivani betoni ne ispunjavaju kriterijume za deklarisanu klasu sa performansama, već prevaizlaze gornju granicu za klasu H. Budući da se i referentni beton i betoni sa biopepelom kategoriju u klasu F, može se zaključiti da PKO ne utiče u velikoj meri na otpornost betona na habanje.

5 ZAKLJUČAK

Predmet rada jeste istraživanje mogućnosti primene pepela kukuruznog oklaska kao zamenjujućeg cementnog materijala pri projektovanju i spravljanju održivijih, zelenih betona 21. veka. Prema rezultatima sopstvenog eksperimentalnog istraživanja, izvedeni su sledeći zaključci:

- ❖ Ispitivan pepeo kukuruznog oklaska je obećavajući pucolanski materijal, zbog visokog sadržaja amornog silicijum dioksida i zadovoljavajućeg nivoa finoće.
- ❖ Kao rezultat visokog sadržaja amornog silicijum dioksida, pepeo ispunjava uslove za pozitivnu klasu pucolanske aktivnosti. Dodatno, kao posledica efikasnog mlevenja materijala i povećanja finoće mliwa, pospešuje se i filer efekat: čestice biopepela su sutnije (finije) od cementa, što dovodi do optimiziranog pakovanja u strukturi maltera i betona. Ovo je potvrđeno i ispitivanjem indeksa aktivnosti.
- ❖ Usled "dilution" efekta i rane faze pucolanske reakcije nakon 28 dana, pritiska čvrstoća betona koji sadrže

biopepeo postepeno se smanjivala u odnosu na referentni beton. Međutim, 50% biopepela je obezbedilo zadovoljavajuće performanse, ispunjavajući klasu betona za konstrukcijske primene.

- ❖ Zamena cementa sa biopepelom je doprinela manjoj dubini prodiranja vode pod pritiskom, posebno pri višim nivoima supstitucije. Ovo se može pripisati većoj kompaktnosti betona koji sadrže veliki udeo finih čestica i većoj sposobnosti zadržavanja vode.
- ❖ S obzirom da svi betoni pripadaju istoj klasi otpornosti na habanje, može se primetiti da biopepeo nema značajan uticaj na ovo svojstvo betona.

Fino mleveni biopepeo može se koristiti kao zamena cementa u proizvodnji betona, do 50% zamenskog nivoa, bez većeg ugrožavanja njegovih fizičko-mehaničkih svojstava. Ovim se postižu sledeći benefiti:

- ✓ Manji utrošak cementa, kao najskuplje komponente betona, tj. ekonomski benefiti,
- ✓ Manja emisija polutanata koji potiču od procesa proizvodnje portland-cementnog klinkera, naročito CO₂,
- ✓ Održivo korišćenje otpada, tj. oslobađanje vrednog građevinskog i/ili poljoprivrednog zemljišta od deponovanog materijala.

6 LITERATURA

- [1] SRPS EN 196-1: Metode ispitivanja cementa - Deo 1: Ispitivanje čvrstoće. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije; 2008.
- [2] SRPS EN 196-6: Metode ispitivanja cementa — Deo 6: Određivanje finoće mliwa. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije; 2011.
- [3] SRPS EN 197-1: Cement — Deo 1: Sastav, specifikacije i kriterijumi usaglašenosti za obične cimente. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije; 2013.
- [4] EN 196-2:2013: Method of testing cement - Part 2: Chemical analysis of cement.
- [5] EN 450-1: Fly ash for concrete - Part 1: Definition, specifications and conformity criteria.
- [6] SRPS EN 12350-2:2010: Ispitivanje svežeg betona - Deo 2: Ispitivanje sleganja.
- [7] SRPS ISO 6276:1997: Beton - Zbijeni sveži beton - Određivanje zapreminske mase.

Kratka biografija:



Filip Sajdl rođen je u Novom Sadu 30.01.1999. god. Od 2023. po završetku osnovnih studija, radi kao nadzor za konstrukcijske objekte u »Utiber« u Novom Sadu.

Kontakt: filipsajdl51@gmail.com



Slobodan Šupić rođen je 1989. godine u Trebinju. Od 2020. radi kao docent na Departmanu za građevinarstvo i geodeziju, uža naučna oblast: Građevinski materijali, procjena stanja i sanacija konstrukcija.



**IZRADA INVESTICIONOG PROGRAMA I NJEGOVA FINANSIJSKO-EKONOMSKA
ANALIZA NA PRIMERU IZGRADNJE STAMBENO-POSLOVNOG OBJEKTA**

**DEVELOPMENT OF INVESTMENT PROGRAM AND ITS FINANCIAL-ECONOMIC
ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF CONSTRUCTION OF A RESIDENTIAL-BUSINESS
BUILDING**

Luka Bajović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Tema rada jeste analiza finansijsko-ekonomske smislenosti realizacije jednog stambeno- poslovnog objekta (Po+P+3+Pk) u Novom Sadu. Napravljen je investicioni program tog objekta i kroz isti sagledani su tržišna, proizvodna vrednost, opravdanost i osetljivost predmetne investicije u uslovima raznih poremećaja na tržištu. Takođe, radom je obuhvaćena analiza tržišta prodaje i nabavke, kao i sama procedura ishodovanja kompletne uslovne i projektne dokumentacije koja u najznačajnijoj meri definiše i određuje izgled, funkcionalnost i strukturu budućeg objekta..

Ključne reči: Upravljanje projektima, Investicioni program, Građevinsko tržište, Opravdanost investicije, Troškovi

Abstract – The topic of the paper is the analysis of the financial and economic feasibility of the realization of a residential and commercial building (Basement+Ground Floor+3+Attic) in Novi Sad. The investment program of that object was created and through it the market value, production value, justification and sensitivity of the investment in question in the conditions of various disturbances in the market were considered. Also, the work includes the analysis of the sales and procurement market, as well as the procedure itself for obtaining complete conditional and project documentation, which to the most significant extent defines and determines the appearance, functionality and structure of the future object.

Keywords: Project management, Investment program, Construction market, Investment justification, Costs

1. UVOD

Građevinarstvo je veoma značajna oblast privrede. Neposredan uticaj građevinarstva na ekonomiju se ogleda preko njegovog udela u rastu društvenog proizvoda. Otuda se, s pravom, građevinarstvo naziva industrijom investicija. Poslednjih godina, investiranje u građevinsku industriju jeste jedan od najčešćih oblika ulaganja veće količine novca. Upravljanje realizacijom investicije, odnosno upravljanje izgradnjom objekta podrazumeva tehničke, ekonomske i pravne uslove, bilo koja faza

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Mučenski, vanr. prof.

realizacije da je u pitanju. Na najširem nivou tehnički uslovi podrazumevaju projektovanje i izvođenje predmetnog objekta. Pravni uslovi podrazumevaju obezbeđenje lokacije, dobijanje odobrenja za izgradnju, odnosno celokupnu pravnu proceduru od ideje, pa do korišćenja objekta. Finansijski aspekt upravljanja investicijom najčešće podrazumeva vrednovanje postignutih materijalnih efekata u pojedinim fazama i upravljačke akcije da se održi vrednost investicije [2]. Na samom kraju, dat je osvrt na proceduru ishodovanja dokumentacije koja determiniše gabarite, funkcionalnost i izgled samog objekta.

**2. ANALIZA RAZVOJNIH MOGUĆNOSTI I
SPOSOBNOSTI INVESTITORA**

2.1. Opšta informacija o investitoru i ciljevi investiranja

Većina investitora želi da zaradi što više novca na svojim investicijama. Međutim, iako je koncept „zarade“ sasvim jednostavan kada se primenjuje na investicije iz prošlosti, pošto se tada jednostavno računa profit od investicija, taj isti koncept je prilično neodređen kada se primenjuje na investicije do kojih će doći u budućnosti. Zato ne iznenađuje to što investicije koje nude najviše očekivane prinose nose i najveći rizik. Ovo je izbor u odnosu rizika i prinosa. Kompanija koja će graditi predmetni objekat bavi se investiranjem i izgradnjom poslovnih i stambenih objekata u Srbiji. Ona je osnovana je ranih devedesetih godina kao malo porodično preduzeće da bi početkom XXI veka preraslo u kompaniju koju odlikuje izuzetna stabilnost i konkurentnost na našem tržištu, i kao takva je izgradila na desetine poslovno-stambenih objekata u ovom delu Srbije. Osim toga firmu odlikuje spoj iskustva i mladosti, i takav stručni kadar je je vremenom izgradio uspešnu i adaptivnu organizacionu strukturu i efikasno se suoči sa realizacijom izgradnje objekata ovog tipa.

2.2. SWOT analiza kompanije

Organizaciona struktura izvođačke firme i način organizovanja realizacije projekta imaju presudan uticaj na uspešnost poslovanja. SWOT analiza pomaže rukovodstvu kompanije da identifikuje sadašnje i buduće šanse i opasnosti iz okruženja (eksterni faktori) i snage i slabosti organizacije (interni faktori). Na osnovu sučeljavanja interne snage i slabosti organizacije sa eksternim šansama i opasnostima, menadžment kompanije može da definiše viziju, misiju i ciljeve, kako za nivo organizacije kao celine, tako i za njene organizacione delove, odnosno procese.

Tabela 1. SWOT analiza investitorske kompanije

EKSTERNI FAKTORI SWOT ANALIZE	
ŠANSE	OPASNOSTI
-Povoljni kreditni aranžmani	-Inflacija regionalnog karaktera
-Uvođenje novih usluga	-Usporen rast tržišta
-Modernizacija tehničko-tehnoloških procesa	-Povećana konkurencija na tržištu
-Mogućnost partnerskih odnosa sa domaćim kompanijama	-Poskupljenje materijalnih resursa
-Globalni razvoj okruženja	-Niska kupovna moć građana
-Nacionalna privredna politika podrške	-Korupcija
	-Nedostatak nacionalne strategije
INTERNI FAKTORI SWOT ANALIZE	
SNAGA	SLABOSTI
-Jasni ciljevi i strategija	-Nedostatak liderskog menadžmenta
-Povoljna likvidnost i profitabilnost	-Prisustvo operativnih problema
-Rešeni finansijski izvori	-Izrađovanost opreme
-Dobar tržišni imidž	zamene
-Dobre konkurentne veštine	-Nedostatak marketinških procena tržišta
-Kratki rokovi izgradnje	-Problemi u plasmanu proizvoda
-Proizvodi u skladu sa potrebama kupaca	-Mala produktivnost rada
-Veliki kapital	-Nedostatak kvalitetne radne snage
-Optimalan odnos cene i kvaliteta	-Niske cene proizvoda i usluga
-Kvalitetan linijski menadžment	
-Adaptacija proizvoda	

3. ANALIZA TRŽIŠTA

3.1. Analiza tržišta prodaje

Jedan od osnovnih razloga zbog kojih se investitori odlučuju na ulaganje jeste dobit. Zbog toga je važno da pre investiranja dobro izanaliziraju tržište, kako bi unapred znali da li postoje realna očekivanja da će se željena dobit i ostvariti [1]. Na osnovu statističkih podataka prikazanim u sledećoj tabeli se da primetiti mimoilaženje demografskih promena na pokrajinskom i na gradskom nivou. AP Vojvodina je u vremenskom intervalu od 11 godina izgubila 182453 stanovnika, dok je broj građana Novog Sada, u istom tom vremenskom intervalu, povećan za 25496 ljudi. Taj podatak nam jasno govori da je u toku trend iseljavanja naših sunarodnika iz ruralnih mesta i manjih gradskih sredina u najveći grad u ovom delu Srbije, Novi Sad. Taj trend iziskuje, zbog veće gustine naseljenosti grada, potrebu za dodatnom gradnjom stambenih objekata.

Kao posledica migracije stanovništva iz raznih delova Srbije u grad Novi Sad, naseljavanja izbeglih ruskih i ukrajinskih državljana, javlja se skok podstanarskog i sezonskog stanovanja. Što nam ukazuje da bi prilikom analize tržišta trebalo uzeti u obzir da je sigurno veliki broj domaćeg stanovništva pa i stranaca zainteresovan za kupovinu novoizgrađenih stambenih jedinica. Pomenuta migracija ljudi jedan je od vodećih razloga uvećanja prodajnih cena stambenog kvadrata.

Međutim posle građevinskog buma koji se desio krajem 2021 i tokom 2022, primetan je pad prodaja nekretnina u I kvartalu 2023 godine (25%). Razlog za pad aktivnosti građevinske industrije u prvom kvartalu tekuće godine treba prvenstveno tražiti u visokim cenama građevinskog materijala kao i padu kupovne moći građana Srbije, smatra domaća stručna javnost.

3.2. Analiza tržišta nabavke

Tržište nekretnina je usko vezano za oblast koja se bavi prodajom i proizvodnjom građevinskog materijala. Svako ko se bavi stanogradnjom (projektovanje i izgradnja) itekako mora da razmišlja kakav je uticaj rasta cena građevinskog materijala na tržište nekretnina. U poslednje vreme, pogotovo usled svih dešavanja u Ukrajini, i krize izazvane Covid-om rast cena na svetskom tržištu (energenata i drugih sirovina), svakako se odražava i na cenu građevinskog materijala (proizvodnja zahteva veće

troškove, prodaja i transport zahtevaju veće troškove oko goriva i sl.).

Neke procene su da su cene građevinskog materijala od početka 2021. godine enormno skočile i to negde okvirno oko 30%. Neki materijali zabeležili su i mnogo veći skok, kao na primer, cena drvene građe se pre rata u Ukrajini i krize izazvane pandemijom kretala oko 150-160 € a sada je oko 350 €, armatura pre krize oko 600 €/t, a sada oko 1000 €/t, pumpani beton 65 €/m³ pre, sad oko 90 €/m³.

U poslednje vreme primetna je stabilizacija cena građevinskog materijala. Stabilizaciju i blagi pad cena građevinskog materijala prati stabilizacija cena nekretnina.

4. INVESTICIONI PROGRAM

4.1. Definicija investicionog programa

Definicija pojma investicionog projekta, u literaturi ima mnogo, a jedna od onih koja se čini najboljom, glasi: "Investicioni projekat u graditeljstvu predstavlja kompleks međusobno povezanih procesa, usmerenih na planiranom kvalitetu, vremenskom intervalu realizacije, vrednosti koštanja i usmereni su na ostvarenje unikatnih ciljeva u definisanim rokovima, finansijskim vrijednostima i obimima radova" [4].

Investicioni program, koji će prikazati u ovom radu, sadrži primer proračuna proizvodne cene jedne investicije na primeru izgradnje jednog stambeno-poslovnog objekta, gde će detaljnije analizirati odnos planirane proizvodne i tržišne vrednosti u cilju sagledavanja mogućeg profita investitora. S obzirom da predmetni projekat podrazumeva čist investitorski odnos, investitor sam plaća troškove pibavljanja lokacije i sam vodi investiciju.

4.2. Osnovni podaci o objektu i lokaciji

Predmet ovog rada je analiza izgradnje stambenog objekta Po+P+3+Pk, koji se nalazi u Novom Sadu, Trg Komenskog 4, na KP 7872 KO Novi Sad II.

Objekat je oblika latiničnog slova „L“ i postavljen je na građevinske linije kao deo objekata u blokovskom nizu, i to tako da se građevinska i regulaciona linija poklapaju. Ulaz u stambeni objekat, pešački pristup, je sa Trga Komenskog. Kolski pristup je sa Trga Komenskog. Ulaz u dvorište je prolaskom kroz auto lift. Novoprojektovani objekat predviđen je sa 23 stambene jedinice (od kojih su 2 stana duplex) i sa jednim poslovnim prostorom u prizemlju objekta sa magacinom u podrumu. U lokal se ulazi direktno sa Trga Komenskog. Obaveza investitora jeste da na parceli obezbedi minimum 15 parking mesta.

OSNOVNE DIMENZIJE	ukupna površina parcele/parcela:	382m ²
	BRGP dela objekta (član 145):	-
	ukupna BRGP nadzemno:	1 772,22m ²
	ukupna BRUTO izgrađena površina:	2 150,45m ²
	ukupna NETO površina:	1 826,62m ²
	površina prizemlja, neto:	231,41m ²
	površina zemljišta pod objektom/zauzetost:	295,54m ²
	spratnost (nadzemnih i podzemnih etaža):	Po+P+3+Pk
	broj funkcionalnih jedinica/broj stanova:	Poslovni prostor: 1 (83,93 m ²) Stambena jedinica: 23 (1253,04 m ²)
	broj parking mesta:	Parking mesta u dvorištu: 4 Podzemno garaža: 8 garažnih mesta Ukupno: 12
indeks zauzetosti		77%
indeks izgrađenosti		4,62

Tabela 2. Prikazani osnovni podaci o planiranom objektu,

4.3. Tržišna vrednost objekta

Tržišna vrednost predmetnog objekta utvrđena je na osnovu analize podataka u agencijama za prodaju nekretnosti i na osnovu istraživanja oglasa prodaje, na internetu, u blizini predmetne lokacije. Prema prikupljenim podacima, usvaja se da je prodajna cena kvadratnog metra stambenog prostora 3000 €/m², a parking mesta 20000 €.

Tabela 3. Procenjena tržišna vrednost objekta

	POVRŠINA (m ²)	CENA (eur/m ²)	UKUPNO (eur)	Udeo (%)
NETO površina - stambeni deo	1253.04	3000	3759120	88.43
NETO površina - poslovni deo	83.93	3000	251790	5.92
Garaža/Parking mesta (kom)	12	20000	240000	5.65
NETO površina (stambeni i poslovni deo)	1336.97		4250910	100

5. ANALIZA PROIZVODNE CENE INVESTICIJE

5.1. Troškovi projektovanja i izgradnje objekta

Proizvodnom cenom objekta su obuhvaćeni svi troškovi koje treba realizovati da bi se investicija završila.

Cena izrade kompletne projektne dokumentacije na teritoriji Novog Sada se kreće između 10-14 €/m². Za potrebe predmetnog rada usvaja se cena od 12 €/m² ukupne bruto površine objekta.

Tabela 3. Prikazana cena izrade kompletne projektne dokumentacije

	POVRŠINA (m ²)	CENA (€/m ²)	UKUPNO (€)
Projektovanje	2150.45	12	25805.4

Gradnja i opremanje objekta su po finansijskoj vrednosti najznačajnija komponenta ukupne cene investicije. Cena građenja po sistemu "ključ u ruke", na osnovu relevantnih podataka prikupljenih od izvođačkih firmi koje posluju na teritoriji Novog Sada, se kreće između 650-800 €/m² BRGP. Na osnovu predmeta i predračuna predmetnog projekta dobijena je cena građenja 700 €/m² bruto razvijene građ. površine objekta, odnosno 928 €/m² neto stambenog i poslovnog prostora.

5.2. Doprinos za uređenje zemljišta i komunalne participacije

Za uređivanje građevinskog zemljišta plaća se doprinos jedinici lokalne samouprave na čijoj teritoriji se planira izgradnja objekta. Novčana sredstva dobijena od doprinosa za uređenje građevinskog zemljišta koriste se za uređivanje (pripremanje i opremanje) građevinskog zemljišta i izgradnju i održavanje objekata komunalne infrastrukture. Iznos doprinosa se utvrđuje rešenjem o izdavanju građevinske dozvole. Prosečna cena stanova novogradnje u Novom Sadu u I polugodištu 2022. godine (Republički zavod za statistiku, 2022) iznosila je 1495.85 €/m². Predmetni objekat se nalazi u 3. zoni. U skladu sa Odlukom o utvrđivanju doprinosa sa građevinsko zemljište (Službeni list Grada Novog Sada, 2020) prikazani su sledeći koeficijenti:

-koeficijent zone (kz) = 0,0969

-koef. stambene namene (kn) = 1,4

-koef. poslovne namene (kn) = 1,5

Ukoliko se plaća u punom iznosu, doprinos za uređivanje građevinskog zemljištaja umanjeno za 30%, tako da on iznosi:

- za stambeni deo objekta = $0,7 * 0,0969 * 1,4 * 1495.85$ €/m² * 1253.04 m² = 177.992,963 €

- za poslovni deo objekta = $0,7 * 0,0969 * 1,5 * 1495.85$ €/m² * 83.93 m² = 12.773,748 €

- Ukupno = **190.766,711 €**

Naknade za komunalno opremanje građevinskog zemljišta se obračunavaju i plaćaju po priključku stambene/poslovne jedinice. Ti troškovi se kreću između 15-25% troškova doprinosa za uređivanje građevinskog zemljišta, tako da ćemo usvojiti 20%:

$0.20 * 190.766,711 € = 38.153.34 €$

5.3. Ostali troškovi

Troškovi administrativno-pravne prirode služe za održavanje interne organizacije preduzeća i neophodni su za uspešnu realizaciju projekta.

U okviru ovih troškova biće uključene plate rukovodioca projekta, ostalih odgovornih lica, kao i neki od pratećih troškova na projektu (takse, porezi, knjigovodstvo, advokat, režije, itd).

Iznos tih troškova je procenjen na **98800 €**.

6. TRŽIŠNA VREDNOST LOKACIJE

6.1 Analiza tržišne vrednosti lokacije

Najznačajniji element koji utiče na ponudu i tražnju odnosno tržišnu vrednost objekta je lokacija, uslovi korišćenja nepokretnosti i planom definisane mogućnosti lokacije odnosno potencijal lokacije. Za procenu je neophodno analizirati investicioni program. U zavisnosti od vremena i načina pribavljanja lokacije, troškovi pribavljanja lokacije se kreću od zanemarljivih 5 – 10 % u ranijem periodu nerazvijenog tržišta, pa od 25 - 35 % prodajne cene objekta za najatraktivnije ekskluzivne lokacije danas.

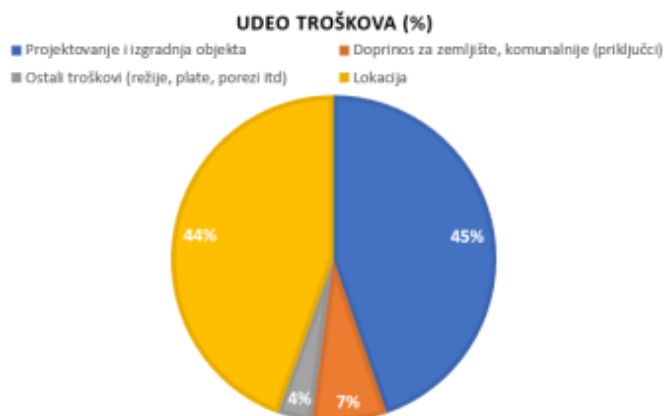
6.2. Procenjena vrednost lokacije i analiza proizvodne cene

S obzirom na odličnu predmetnu lokaciju, izgled i funkcionalnost predmetnog objekta pretpostaviću minimalnu zaradu 50% ukupnih troškova investicije, tada je iznos cene lokacije **1,258,937.22 €** (29.6% tržišne vrednosti objekta, 44.42% ukupnih troškova)

Tabela 5. Prikazane vrednosti troškova, tržišna vrednost i dobit izraženi po neto poslovno-stambenoj kvadraturi.

Vrednost troškova (procenjena cena lokacije)	Vrednost (€)
Projektovanje i izgradnja objekta	1,266,359.40
Doprinos za zemljište, komunalnije (priključci)	228,920.05
Ostali troškovi (režije, plate, porezi itd)	98,800.00
Lokacija	1,258,937.22
UKUPNO	2,833,940.00
Tržišna vrednost	4,250,910.00
Profit	1,416,970.00

Dijagram 1. Pojedinačno učešće troškova u ukupnoj ceni



6.3. Stvarna cena lokacije i analiza proizvodne cene

Konkretno, što se tiče predmetnog projekta, lokacija je kupljena od prethodnih vlasnika parcele već par godina unazad, i sa njima je postignut dogovor o zameni nepokretnosti u vrednosti od 200,000.00 €. Time dolazimo do stvarne računice:

$\text{Realan profit} = 4,250,910.00 - 1,575,002.78 - 200,000.00 = 2,475,907.22 \text{ €}$ (58.25% tržišne vrednosti)

Možemo zaključiti da je investitor imao odličan pristup u pregovorima sa prethodnim vlasnicima lokacije i da je ostvario veliki rezultat, time što je udeo troškova lokacije u ukupnim troškovima svega 11.3%, dok je taj udeo u prodajnoj ceni objekta sveden na samo 4.7%. Shodno navedenim podacima, ovu investiciju možemo smatrati izuzetno racionalnom i opravdanom sa finansijsko – ekonomskog aspekta.

Razlika stvarnog profita i prošlog (pretpostavljenog) iznosi 1,058,937.22 € (792 €/m²).

Tabela 6. Prikazane vrednosti troškova, tržišna vrednost i dobit izraženi po neto poslovno-stambenoj kvadraturi.

Vrednosti troškova (stvarna cena lokacije)	Vrednost (€)
Projektovanje i izgradnja objekta	1,266,359.40
Doprinos za zemljište, komunalnije (priključci)	228,920.05
Ostali troškovi (režije, plate, porezi itd)	98,800.00
Lokacija	200,000.00
UKUPNO	1,775,002.78
Tržišna vrednost	4,250,910.00
Profit	2,475,907.22

Dijagram 2. Pojedinačno učešće troškova u ukupnoj ceni



7. EKONOMSKA OCENA PROJEKTA

7.1. Projekcija bilansa uspeha i cash flow (tok novca)

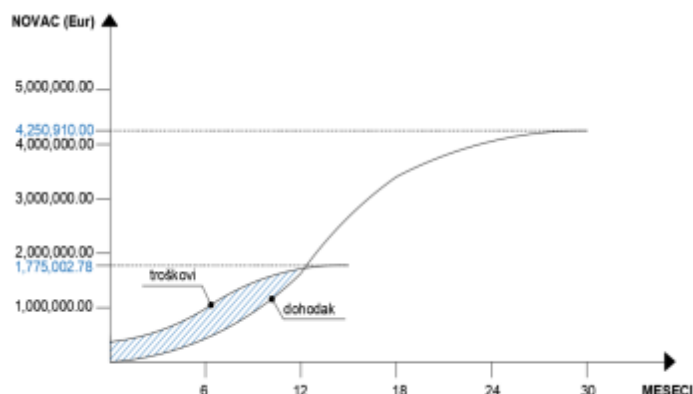
Bilans uspeha je prikaz profitabilnosti firme tokom određenog vremenskog perioda. Tu su prikazani prihodi koje je firma ostvarila tokom izgradnje investicionog objekta, rashodi koje je imala tokom tog perioda i neto dobitak ili profit firme, koji jednostavno predstavljaju razliku između prihoda i rashoda.

Tabela 8. prikazuje rashode u prihode projekta tokom njegovog trajanja, dobit i njenu kumulativnu vrednost

	2023	2024	2025
Prihodi od prodaje	425,091	2,975,637	850,182
Troškovi gradnje	887,501.39	887,501.39	
Dobit	-462,410	2,088,135.61	850,182
Akumulacija		1,625,725.22	2,475,907.22

Na sledećoj slici prikazan procenjen cash flow dijagram predmetne investicije, kroz vreme u odnosu na troškove i prilive. Šrafurom je obeležen vremenski interval od 12 meseci u kom će projekat ostvarivati gubitke, nakon toga uočljiv je rast profita.

Dijagram 3. Cash flow predmetnog projekta



7.2. Ocena opravdanosti projekta

Ocena opravdanosti predmetnog projekta je izvršena analizom finansijskih pokazatelja. Ova metoda vrednovanja opravdanosti predmetnog objekta oslanja se na koncept vremenske vrednosti novca. Usvojena diskontna stopa je 10%. Rentabilnost projekta je sagledana definisanjem osnovnih pokazatelja efikasnosti:

- Neto sadašnja vrednost (Net Present Value)
- Interna stopa rentabilnosti (Internal rate of return, $\geq 10\%$)
- Odnos koristi i troškova (Benefit-cost ratio, ≥ 1)
- Stopa povraćaja investicije (Return on investment, ≥ 1)
- Period povraćaja investicije (Payout period)

Tabela 9. Pokazatelji finansijske opravdanosti projekta

POKAZATELJI OPRAVDANOSTI PROJEKTA	VREDNOST
Neto sadašnja vrednost	2,083,647.62 eur
Interna stopa rentabilnosti	150%
Odnos koristi i troškova	2.19
Stopa povraćaja investicije	2.43
Period povraćaja investicije	12 meseci

Na osnovu sprovedene analize možemo zaključiti da projekat definitivno zadovoljava kriterijume opravdanosti i da je realizacija predmetnog objekta potpuno opravdana.

7.3. Analiza osetljivosti investicije

Iako gotovo sve studije opravdanosti sadrže analizu osetljivosti investicionih projekata, trenutni uslovi na svetskom tržištu mnogostruko povećavaju njen značaj. Analiza će sagledati četiri potencijalne situacije, koje su prikazane tablici:

Tabela 10. Pokazatelji finansijske opravdanosti svih varijacija

VRSTA TESTA	NPV (eur)	IRR	BCR	ROI	PP
Osnovna varijanta	2,083,647.62	150%	2.19	2.43	12 meseci
Povećanje prodajne cene 10%	2,466,932.44	180%	2.41	2.67	12 meseci
Smanjenje prodajne cene 10%	1,735,207.43	130%	1.99	2.21	12 meseci
Smanjenje ukupnih troškova 10%	2,242,665.86	180%	2.41	2.67	12 meseci
Povećanje ukupnih troškova 10%	1,908,728.18	130%	1.99	2.21	12 meseci
Smanjenje koef. izgrađenosti 4.62 → 3.8	1,685,530.59	140%	2.11	2.34	12 meseci

Evidentno je da ovi rezultati analize osetljivosti ukazuju na izuzetnu otpornost investicije na promene na tržištu. U svakoj varijaciji projekat ostaje profitabilan.

8. FAKTORI DEFINISANJA OBJEKTA I PROCEDURA NJIHOVOG ISHODOVANJA

8.1. Faktori definisanja objekta

Tokom životnog ciklusa projekta, javlja se veliki broj faktora koji oblikuju i formiraju konačan izgled objekta, što sve utiče na njegovu vrednost. S obzirom da je tema mog master rada analiza realizacije projekta u finansijsko – ekonomskom smislu, u ovom poglavlju ću dati akcenat na faktore koji jasno definišu izgled, gabarite i konfiguraciju predmetnog objekta. To su planski dokumenti, lokacijski uslovi i građevinska dozvola.

8.2. Objedinjena procedura

Građenje objekta se vrši na osnovu građevinske dozvole i tehničke dokumentacije, pod uslovom i na način utvrđen Zakonom o planiranju i izgradnji. U svojoj suštini, objedinjena procedura je razmena dokumenata u posedu imalaca javnih ovlašćenja bez posredovanja od strane građana, odnosno investitora [5].

8.3. Planska dokumentacija

Gradnja na nekoj parceli je moguća samo ako je ta parcela pokrivena urbanističkim planom, jer planski dokument sadrži namenu i zonu parcele, pozicije saobraćajne infrastrukture, regulacione i građevinske linije, parametre za građenje i druge podatke. U odnosu na njihovu vrstu, a prema Zakonu o planiranju i izgradnji (Službeni glasnik Republike Srbije, 2020), kvalifikuju se u dve grupe:

- *prostorni planovi* (Republike Srbije; regionalni; lokalne samouprave; područja posebne namene)
- *urbanistički planovi* (generalni urbanistički; plan generalne regulacije; plan detaljne regulacije).

Konkretno što se tiče predmetnog objekta osnov za realizaciju planiranih sadržaja na ovom prostoru je plan generalne i detaljne regulacije.

8.3. Informacija o lokaciji i lokacijski uslovi

Na zahtev zainteresovanog lica nadležna gradska uprava, izdaje informaciju o lokaciji, koja sadrži podatke o mogućnostima i ograničenjima gradnje na katastarskoj parceli na osnovu planskog dokumenta.

Lokacijski uslovi su javna isprava koja sadrži podatke o mogućnostima i ograničenjima gradnje na katastarskoj parceli koja ispunjava uslove za građevinsku parcelu, a sadrži sve uslove za izradu tehničke dokumentacije.

Uz zahtev za izdavanje lokacijskih uslova prilaže se idejno rešenje.

8.4. Građevinska dozvola

Građevinska dozvola je akt na osnovu kog, uz potvrđenu prijavu radova, investitor započinje izgradnju objekta. Zahtev za izdavanje građevinske dozvole podnosi se nadležnoj gradskoj upravi za urbanizam. Uz zahtev za izdavanje građevinske dozvole prilaže se:

- lokacijski uslovi;
- izvod iz projekta za građevinsku dozvolu;
- projekat za građevinsku dozvolu, koji sadrži (zavisno od vrste objekta): projekte arhitekture, konstrukcije, hidrotehničkih instalacija, elektroenergetskih instalacija, TK i signalnih instalacija, mašinskih instalacija (klimatizacija i lift/auto lift), elaborati (energetske efikasnosti i zaštite od požara);

- izjašnjenje o načinu plaćanja doprinosa za uređenje građevinskog zemljišta [3].

8.5. Prijava građenja

Investitor 8 dana pre početka građenja objekta treba da prijavi početak izvođenja radova organu nadležnom za izdavanje građevinske dozvole. Uz prijavu radova dostavlja se dokaz o regulisanju obaveza u pogledu doprinosa za uređivanje građevinskog zemljišta. Prijava treba da sadrži datum početka izvođenja radova i rok završetka izvođenja radova. Rok završetka počinje da teče od datuma podnošenja prijave.

9. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada bila je analiza finansijsko-ekonomske smislenosti realizacije višespratnog stambeno-poslovnog objekta. Sagledavani su njegova tržišna i proizvodna vrednost, opravdanost i osetljivost predmetne investicije na razne promene na našem tržištu kao i izmene urbanističkih uslova na predmetnoj lokaciji. Najznačajniji dio troškova čini izrada projektno-tehničke dokumentacije i sama izgradnja objekta. Takođe značajnu grupu troškova čine troškovi komunalnog opremanja i razne takse za sve priključke koji se uz njih javljaju. Zatim, troškovi pravno-administrativne prirode predstavljaju veoma važnu ali finansijski i ne toliko zahtevnu grupu u odnosu na ostale grupe troškova. Konačno, troškovi koji možda i najznačajnije utiču na profitabilnost investicije su troškovi pribavljanja lokacije. Što se tiče predmetnog objekta, dugim, istrajnim i uspešnim pregovaranjem postignuta je izuzetno povoljna cena lokacije. Što je u najmanju ruku, doprinelo velikoj rentabilnosti i opravdanosti investicije. Pragmatičnim pristupom, jasnim ciljevima i strategijom poslovanja uz adekvatnu organizaciju pri realizaciji objekta investitor će vrlo verovatno doći do uspešno realizovanog investicionog poduhvata

10. LITERATURA

- [1] G. Ćirović, O. Luković, "Građevinska ekonomija", Visoka građevinsko-geodetska škola strukovnih studija, Beograd, 2007.
- [2] B. Ivković, Ž. Popović, "Upravljanje projektima u građevinarstvu", Građevinska knjiga, Beograd, 2005.
- [3] D. Čukić, D. Vasiljević, "Vodič kroz dozvole za izgradnju", Predstavništvo Cardno Emerging Markets USA Ltd, Beograd, 2016.
- [4] G. Ćirović, "Upravljanje investicijama", Visoka građevinsko-geodetska škola strukovnih studija, Beograd, 2013.
- [5] G. Ćirović, M. Topalović "Građevinsko-urbanističke procedure", Visoka građevinsko-geodetska škola strukovnih studija, Beograd, 2011.

Kratka biografija:



Luka Bajović rođen je u Nikšiću 1994. god. Diplomski rad na konstruktivnom smeru Građevinskog fakulteta u Podgorici odbranio je 2017.god.
kontakt: baves94@gmail.com

АНАЛИЗА ТРОШКОВА ИЗГРАДЊЕ КРУЖНИХ ТОКОВА У ЈАРКОВЦУ, ПАНЧЕВУ И НОВОМ САДУ**ROUNDAABOUTS IN JARKOVAC, PANČEVO AND NOVI SAD CONSTRUCTION COSTS ANALYSIS**

Михаило Марјановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област-ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Предмет овог рада јесте анализа трошкова за изградњу три кружна тока која се налазе у близини Јарковца, у Панчеву и Новом Саду. Анализирано је који су то све параметри који утичу на структуру трошкова за ову врсту пројеката.

Кључне речи: трошкови, пример и предрачун, јединична и укупна цена

Abstract – The subject of this paper is cost analysis of three roundabouts construction projects in Jarkovac, Pančevo and Novi Sad. It is analysed which parameters have impact on cost structure for these kind of projects.

Keywords: costs, bill of quantities, unit and total price

1. УВОД

Кружни ток код Јарковца налази се на раскршћу путева између истоименог села, Самоша, Добрице и Томашевца, у општини Сечањ. Изградња овог кружног тока је део ширег пројекта изградње пута који ће спојити државни пут ПА реда број 129 од ове кружне раскрснице и државни пут ПА реда број 130 у Томашевцу. Овај пројекат има за циљ унапређење путне инфраструктуре у Средње-банатском округу и смањење времена путовања и трошкова између насеља у овом региону.

Кружни ток у Панчеву налази се у северном делу града, тачније на раскрсници државног пута ПА реда број 130 и такозваног Црепајског пута. Како се индустријска зона града Панчева шири, предвиђено је да ће на овој локацији доћи до повећања саобраћаја, нарочито теретног, те пројекат предвиђа да постојећа класична раскрсница буде замењена кружном.

Турбо кружни ток у Новом Саду налази се на раскрсници Булевара цара Лазара и Фрушкогорске улице и представља први турбо кружни ток у Републици Србији. Изградња овакве раскрснице ће довести до повећања ефикасности саобраћаја у овом делу града, што представља значајан фактор за саобраћај у граду с обзиром да се број становника и потреба за инфраструктуром у граду Новом Саду константно повећавају.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Владимир Мученски.

2. КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ

Кружне раскрснице јесу раскрснице друмске инфраструктуре у којима се саобраћај обавља искључиво кружним кретањем возила. Оне се сматрају безбеднијим решењем у односу на класичне раскрснице. Поред тога, цена одржавања им је нижа, Како не постоји утршак електричне енергије за константно напајање семафорске сигнализације, цена одржавања им је нижа. Све наведено, а најпре безбедност саобраћаја је разлог због кога је број оваквих раскрсница у константном повећању у свету и код нас [1,2,3].

3. ЕЛЕМЕНТИ РАСКРСНИЦА**3.1. Кружна раскрсница Јарковац**

Идејни пројекат је предвидео да ће ова кружна раскрсница имати пречник уписане кружнице од $D=38\text{m}$ са ширином коловоза од 7m , у складу са правилником за пројектовање кружних раскрсница. Попречни нагиб коловоза износи $i_p=2,5\%$. Пројекат коловозне конструкције је у складу са српским стандардом. Коловозна конструкција у кружној раскрсници се састоји од следећих слојева, редом:

- асфалт-бетон АБ11с са ПмБ 45/ 80-65; $d=5\text{cm}$
- битумизирани носећи слој БНС 22А; $d=8\text{cm}$
- дробљени камени агрегат $d=15\text{cm}$
- дробљени камени агрегат; $d=20\text{cm}$
- песак; $d=40\text{cm}$ [4].

На свим правцима који се укључују на кружни ток постоји једна трака ширине $3,75\text{m}$ за улив и једна трака ширине $4,0\text{m}$ за излив. Саобраћајна острва су оивичена ивичњацима димензија $24/24$ са надвишењем од 12cm .

3.2. Кружна раскрсница у Панчеву

Кружна раскрсница је трокрака са следећим геометријским елементима:

- пречник уписане кружнице $D=44\text{m}$
- ширина кружног коловоза $b_k=6,50\text{m}$
- ширина уливне траке $b_u=4,00\text{m}$
- ширина изливне траке $b_i=4,50\text{m}$ [5].

Попречни нагиб коловоза у кружном току износи $2,50\%$ и оријентисан је према спољашњим ивицама.

Коловозна конструкција саобраћајнице на државном путу као и у зони кружне раскрснице садржи следеће слојеве пута:

- Асфалт бетон АБ11s d=5cm
- Битуменизирани носећи слој БНС22sA d=6cm
- Битуменизирани носећи слој БНС22sA d=6cm
- Дробљени камени агрегат 0/31,5mm d=20cm
- Дробљени камени агрегат 0/63mm d=30cm.

3.3. Турбо кружна раскрсница у Новом Саду

Полупречник унутрашње ивице прегазног дела острва (који је ширине 2,0m) је $R_0=9,35m$ док је полупречник спољашње ивице коловоза (спољашње траке) $R_4=23,0m$. Ширина унутрашње кружне возне траке је 5,30-5,50m док је спољна ширине 5,85-6,0m, и оне омогућавају критичан маневар меродавног возила по одређеним смеровима. Како би се избегло увођење и кретање свих типова возила која долазе са укрсних праваца у кружни ток, предвиђене су спољне саобраћајне траке за директно одвајање десних скретања, најмање ширине од 4,50m, које растеређују саму кружну раскрсницу.

Пројектована је коловозна конструкција која садржи следеће слојеве:

- Асфалт бетон АБ 11с d = 5cm
- Битуменизирани носећи слој БНС 22А d=6cm
- Битуменизирани носећи слој БНС 22А d=6cm
- Дробљени камен 0/31,5mm d= 10cm
- Дробљени камен 0/63mm d = 25cm
- песак, минималне дебљине d=50cm

Коловозна конструкција прегазног коловоза (поплочана површина уз централно зелено острво кружног тока ширине 2,0m) је следећег састава и дебљине слојева [7]:

- Гранитна коцка 10x10x10cm d = 10cm
- Бетон МБ30 d = 10 cm
- Дробљени камен 0/31,5mm d = 15cm
- Дробљени камен 0/63mm d = 25cm
- Песак мин d = 50cm.

Поплочана физичка острва на делу коловоза у зони раскрснице имају следећи састав и дебљину слојева:

- Префабриковани бетонски елементи d = 8cm (10) cm
- Дробљени камен 0/31,5mm d = 20cm
- Песак мин d = 30cm

Пешачке и бицикличке стазе ће бити изграђене од следећих слојева:

- Асфалт бетон АБ 11 d = 4cm
- Битуменизирани носећи слој БНС 22А d= 5cm
- Дробљени камен 0/31,5mm d= 20cm
- Песак мин d = 30cm

Реконструисана паркинг места у Булевару цара Лазара ће бити изведена од следећих слојева:

- Асфалт бетон АБ 11 d= 4cm
- Битуменизирани носећи слој БНС 22А d = 5cm
- Дробљени камен 0/31,5mm d = 25cm
- Песак мин d = 30cm

4. ТРОШКОВИ ИЗГРАДЊЕ

4.1. Кружна раскрсница Јарковац

Према студији оправданости [4] за изградњу кружне раскрснице Јарковац, укупна инвестиција износи 346.992,15 EUR (40.945.073 RSD) са урачунатим ПДВ-ом, док цена без урачунатог ПДВ-а од 20% износи 289.160,12 EUR (34.120.894,34 RSD).

Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње ове раскрснице показује да нешто више од 3/4, тачније 76,63% трошкова односи се на грађевинске радове. Следе трошкови осветљења, стална и привремена саобраћајна сигнализација.

У наредној табели је приказана цена врста радова и њихово процентуално учешће у укупној цени.

Табела 4.1: цене група радова за изградњу кружног тока Јарковац (EUR)

позиција:	цена у EUR:	проценат од укупне вредности (%):
грађевински радови	221.583,49	76,63
стална саобраћајна сигнализација	24.233,49	8,38
привремена саобраћајна сигнализација	14.175	4,90
осветљење	29.168,13	10,08

Анализирајући које су то појединачне позиције које имају највеће учешће у цени, закључује се да су то позиције које припадају групи грађевинских радова. Израда коловозне конструкције учествује са 40,36% од укупне цене изградње раскрснице.

Након тога, следе земљани радови са 30,94% учешћа у цени. Разлог за овакву дистрибуцију трошкова јесте што овај пројекат обухвата само изградњу кружног тока без пешачких и бицикличких стаза, без уређења амбијента и сл, с обзиром да је локација ван насељеног места те се не предвиђа потреба за таквим садржајима.

У трошковима израде коловозне конструкције највеће учешће има израда носећег слоја БНС А22, d=8cm са 18,23% трошкова грађевинских радова; хабајући слој-асфалт бетон АБ 11с са ПМБ 45/80-65, d=5cm са 11,92% учешћа и дробљени камени агрегат 0/63mm са 11,46% учешћа.

Када су земљани радови у питању, позиција са највећим учешћем јесте машинско насипање рефулисаног песка са 27,15%.

4.2. Кружна раскрсница у Панчеву

Према студији оправданости[4] за изградњу кружне раскрснице у Панчеву, укупна инвестиција износи 37.200.514,6 RSD без урачуналог ПДВ-а, док цена са ПДВ-ом од 20% износи 44.640.617,52 RSD. На овом пројекту највеће учешће у цени изградње имају грађевински радови са 80,76%. Унутар грађевинских радова највећи проценат цене имају радови на изради коловозне конструкције са чак 47,9% цене целокупног пројекта. Након тога следи група земљаних радова са 16,44% цене свих радова. Трошковно најзначајнија појединачна позиција радова из групе радова на изради коловозне конструкције је израда доњег носећег слоја од дробљеног каменог агрегата 0/63mm дебљине 30cm са учешћем од 11,42% целокупне цене. Значајне су и позиције израда првог слоја горњег носећег слоја БНС 22sA дебљине 6cm и израда другог слоја горњег носећег слоја БНС 22sA дебљине 6cm на кружном току и на државном путу које учествују са по 8,28% од укупне цене. Земљани радови имају значајан удео у трошковима који износи 16,44% укупне, односно 20,44% цене грађевинских радова.

4.3. Турбо кружни ток у Новом Саду

Пројекат турбо кружног тока се по својим карактеристикама знатно разликује од кружних токова у Јарковцу и Панчеву. Разлог за то најпре лежи у његовој локацији, што условљава већи број позиција радова које су везане за пешачки и бициклически саобраћај и изглед раскрснице. Изградња саобраћајне површине учествује са 60,43% у цени пројекта, где су урачунате површине за пешачки и бициклически саобраћај. Значајани трошкови су предвиђени за хидротехничке радове, односно изградњу фонтане у централном острву раскрснице и за јавно осветљење. Унутар групе радова на изградњи саобраћајних површина највеће учешће имају радови на изградњи коловозне конструкције са 30,34% цене пројекта. Појединачно најскупља позиција из ове групе је БНС 22сА Пмб на делу постојећег коловоза d=6cm који учествује са 7,21% цене пројекта.

У наредној табели дат је приказ учешћа трошкова изградње по врстама радова.

Табела 4.2: цене група радова за изградњу турбо кружног тока у Новом Саду

врста радова:	учешће трошкова (%):
Архитектура	8,85
Саобраћајне површине	60,41
Конструкције	1,99
Хидротехничке инсталације	10,98
Јавно осветљење	8,65
Инсталације семафора	2,63
Инсталације фонтанске технике	1,72
Машинске инсталације	2,43
Саобраћајна сигнализација	2,34

У архитектонске радове спада изградња фонтане и машинске собе за инсталације фонтане, док у хидротехничке радове спада опремање фонтане одговарајућим машинским системима и инсталацијама. Збир цена ове две врсте радова представља заправо

цену фонтане, што преставља значајан удео у укупној цени пројекта, односно 19,83% трошкова.

5. ПАРЕТОВ ПРИНЦИП

Овај принцип је теорија италијанског економисте која је позната и као правило 80/20. Наиме, ради се о тврдњи да 20% производа учествује у 80% профита фирме или у случају грађевинских радова да 20% позиција радова носи 80% трошкова.

За кружни ток у Јарковцу се може видети да од 27 позиција из групе грађевинских радова, свега шест позиција носи 80% трошкова, док остала 21 позиција заузима мање од 20% цене грађевинских радова. Управо тих шест најзначајнијих позиција представљају 22% од укупног броја позиција на пројекту. Када је кружни ток у Панчеву у питању у анализи које су то позиције које имају највећи удео у цени, долази се до закључка да 10 од 37 позиција грађевинских радова има учешће од 80,05%. У односу на укупан број позиција, тих 10 најзначајнијих износе 27% броја позиција. Иако постоји одступање од Паретовог закона од 20%, ипак се може рећи да један мањи број позиција носи највећи део трошкова на пројекту. Оне уједно чине 64,62% трошкова свих радова на пројекту.

Код новосадског турбо кружног тока од укупно 83 позиције из групе грађевинских радова, трошковно најзначајнијих 18 позиција заузимају чак 78,31% трошкова грађевинских радова, док преосталих 65 позиција обухвата 21,69%. Паретово правило важи за трошкове овог пројекта с обзиром да 18 трошковно најзначајнијих позиција представља 21,7% од укупног броја позиција и носи скоро 80% трошкова.

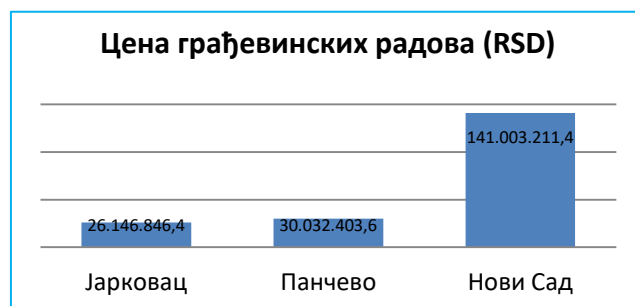
6. ПОРЕЂЕЊЕ ЦЕНА РАДОВА

6.1. Поређење цена грађевинских радова

Поређења цена како укупне цене грађевинских радова тако и појединачних врста радова је најједноставније приказати кроз дијаграме. Поред приказа цена у свом пуном износу, сведене су и на јединичну површину раскрснице, односно цене одређене врсте радова су подељене са површином предметне раскрснице како би поређење могло бити што реалније.

На наредном дијаграму приказана је цена грађевинских радова за сва три пројекта изражена у RSD.

Дијаграм 6.1: цене грађевинских радова у RSD



На наредном дијаграму приказана је цена грађевинских радова за сва три пројекта сведена на јединичну површину односно у RSD/m².

Дијаграм 6.2: цене грађевинских радова по јединичној површини (RSD/m²)

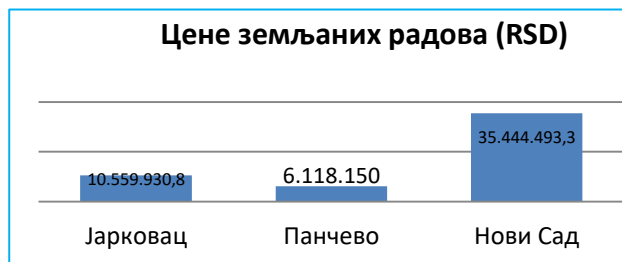


Иако сведена на јединичну површину разлика у ценама је видљива. Разлога за то је више. Поред различитих јединичних цена које су пројектанти предвидели кључна је разлика у врстама позиција које се изводе, односно у садржајима раскрсница. Турбо кружни ток у Новом Саду има знатно више садржаја од друге две раскрснице што се може видети у разликама укупне цене и цене по m².

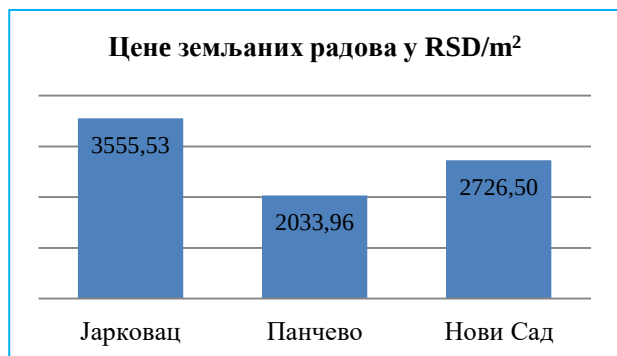
6.2. Поређење цена земљаних радова

На наредна два дијаграма су приказани дијаграми цена земљаних радова и цена земљаних радова по јединичној површини.

Дијаграм 6.3: цене земљаних радова (RSD)



Дијаграм 6.4: цене земљаних радова по јединичној површини (RSD/m²)



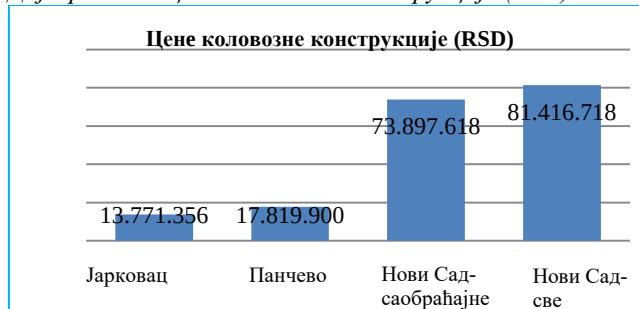
У групи земљаних радова, количина песка који је потребно насути је знатно већа у пројекту Јарковац него у Панчеву, што на првом месту прави разлику у цени земљаних радова.

Код турбо кружног тока у Новом Саду количина земље за машински ископ за који се користи ровокопач је знатно већа и износи 10 792m³. Набијање подтла и израда насипа од песка дебљине d=50cm се поред постојећег коловоза ради и испод проширења коловоза, новог коловоза, пешачких стаза и паркинга у дебљини од d=30cm, као и испод стаза испред Научно-технолошког парка. Самим тим количине у предмеру су знатно веће него код друга два пројекта. Јединичне цене коју су пројектанти предвидели за насипање песка су веома сличне.

6.3. Поређење цена коловозне конструкције

На наредном дијаграму дат је упоредни приказ цена коловозних конструкција на сва три кружна тока. За кружни ток у Новом Саду су дата два приказа цена. Један се односи само на цену коловозне конструкције на самој саобраћајници, док се други приказ односи на укупну цену свих радова на коловозним конструкцијама, односно на збир цена за саобраћајницу, пешачке и бицикличке стазе.

Дијаграм 6.5: цене коловозне конструкције (RSD)



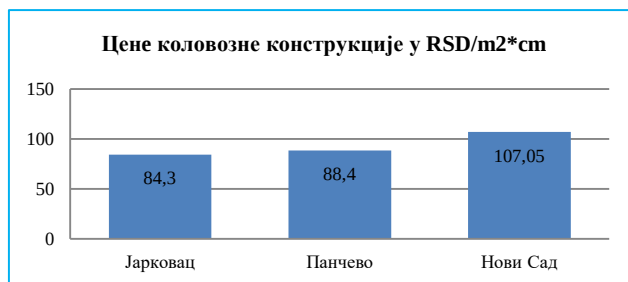
Цена радова коловозне конструкције кружног тока у Панчеву знатно је већа од кружног тока у Јарковцу, док је цена коловозне конструкције турбо кружног тока у Новом Саду вишеструко пута скупља од друга два пројекта.

Цена коловозне конструкције по метру квадратном за кружни ток у Јарковцу износи 4 636,8 RSD/m², док за кружни ток у Панчеву износи 5 924,2 RSD/m². Оно што ова два пројекта, са аспекта коловозне конструкције, разликује јесте дебљина уграђених слојева. Кружна раскрсница у Јарковцу ће имати видно мање дебљине уграђених слојева од раскрснице у Панчеву. Ширина коловоза унутар самог кружног тока је слична и износи 7m у Јарковцу и 6,5m у Панчеву.

Узимајући у обзир и разлику у дебљини слојева који су уграђивани у ове три раскрснице, цену у динарима по m² је могуће поделити и са дебљином асфалта у cm и добити цену изражену у RSD/m²*cm.

На наредном дијаграму су приказане цене изражене у динарима по јединичној површини раскрснице и по јединичној дебљини слојева пута.

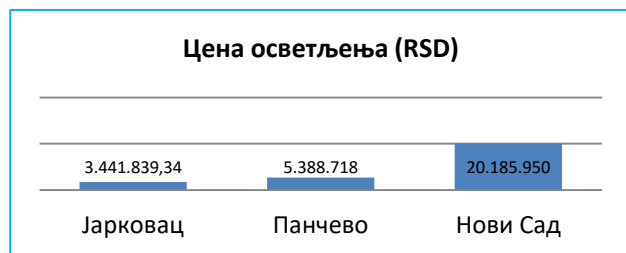
Дијаграм 6.5: цене коловозне конструкције по јединичној површини раскрснице и по јединичној дебљини слојева пута. (RSD)



6.4. Поређење цена осветљења

На наредном дијаграму је дат упоредни приказ цена осветљења за све три раскрснице.

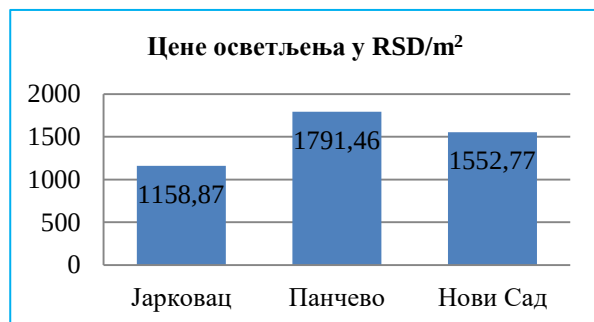
Дијаграм 6.6: цене осветљења (RSD)



Цене осветљења се најпре разликују због броја стубова расвете која ће бити уграђена на раскрсницама. Локације ових објеката диктирају потребу за нивоом расвете. Како је турбо кружни ток у урбаној зони града Новог Сада присутна је потреба за осветљењем саобраћајних, пешачких и бициклистичких површина као и пројектованих садржаја унутар централног острва раскрснице. Трошкови за осветљење кружног тока у Панчеву су видно већи него за раскрсницу у Јарковцу. Разлог је тај што се кружни ток у Јарковцу налази ван самог села тачније у његовом атару те је потреба за осветљењем знатно мања јер пројектант не предвиђа да ће на овој локацији постојати значајан пешачки и бициклистички саобраћај. На раскрсници у Панчеву, иако на периферији града се очекује пешачки и бициклистички саобраћај на локацији, те је неопходно адекватно осветлити све површине.

Цене осветљења је, такође, могуће свести на јединичну површину раскрснице и тако их упоредити, што је и приказано на наредном дијаграму.

Дијаграм 6.7: цене осветљења по јединичној површини у RSD/m²



7. ЗАКЉУЧАК

Гледајући три кружна тока који су обрађивани у овом раду, закључује се да је турбо кружни ток у Новом Саду значајно сложенији пројекат од друга два и да са собом доноси одређени број позиција радова који нису предмет друга два пројекта. Самим тим су укупне цене за турбо кружни ток у Новом Саду веће, док то није увек случај са ценама које су сведене на јединичну површину.

У свим обрађиваним пројектима највеће учешће трошкова носили грађевински радови. Унутар грађевинских радова ових пројеката важи Паретово правило, односно за сва три пројекта је могуће наћи оквирно 20% броја позиција радова који носе око 80% трошкова изградње раскрсница.

Укупна цена за пројекат изградње кружне раскрснице Јарковац износи 40.945.073 RSD са урачунатим ПДВ-ом, за раскрсницу у Панчеву 44.640.617,52 RSD са урачунатим ПДВ-ом, док за турбо кружни ток у Новом Саду износи 280.081.497,40 RSD са урачунатим ПДВ-ом. Средња вредност укупне цене изградње ова три кружна тока износи 121 889 062,6 RSD.

Средња вредност цена грађевинских радова за све три раскрснице износи 9.878,08 RSD/m², док средња вредност цене изградње коловозне конструкције по јединичној површини раскрснице по јединичној дебљини слојева пута износи 93,25 RSD/m²*cm.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дончева Радојка; Пројектирање патни јазли; Градежен факултет; Скопје; 2004.
- [2] интернет, линк: <https://en.wikipedia.org/wiki/Roundabout>; преузето: 26.05.2023.
- [3] Узелац Ђорђе; Коловозне конструкције; Факултет техничких наука; Нови Сад; 2015.
- [4] Боричић Људевит, дипл. инж. грађ; Студија оправданости-кружна раскрсница на укрштању са државним путем на саобраћајном чвору 12903 (Самош) на државном путу ПА 129 на км 91+837 на катастарским парцелама број 4719/1, 4719/2, 4716/2, 4719/3, 2196/2, 4722 КО Јарковац; Виа инжењеринг д.о.о. Нови Сад; 2020.
- [5] Станимировић Марија, дипл. инж. грађ; Пројекат коловозне конструкције-Изградња кружне раскрснице на катастарским парцелама број 9416/43, 9417, 13962, 13957 све КО Панчево; Архитектонско-грађевински институт; Нови Сад; 2021.
- [6] Костић Горан; Студија оправданости-Изградња кружне раскрснице на катастарским парцелама број 9416/43, 9417, 13962, 13957 све КО Панчево; Архитектонско-грађевински институт; Нови Сад; 2021.
- [7] Мостафа Насер, дипл. инж. саоб; ПЗИ– пројекат за извођење кружне раскрснице Булевару цара Лазара и Фрушкогорске улице у Новом Саду на к.п. 7815/1, 7814/1, 3553/20, 3653/1, 3609/5, 3610/2, 3611/2, 3611/3, 3612/2, 3612/1 к.о. Нови Сад II; МХМ Пројект; Нови Сад; 2018.

Кратка биографија:



Михаило Марјановић рођен је у Београду 1997. године. Основне студије је завршио на Грађевинском факултету у Београду, док је мастер студије на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер грађевинарство, одсек организација и технологија грађења уписао 2022. године.

**PRORAČUN ČELIČNOG SANDUČASTOG MOSTA RASPONA 70+100+70M I
UPOREDNA ANALIZA VERTIKALNOG SAOBRAĆAJNOG OPTEREĆENJA****CALCULATION OF 70+100+70M STEEL BOX BRIDGE AND COMPARATIVE
ANALYSIS OF VERTICAL TRAFFIC LOAD***Milan Nikolić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je prikazan statički i dinamički proračun mosta raspona 70+100+70m, kao i dimenzionisanje elemenata. Most je čelični, kvaliteta S355 i sastoji se od elemenata, kolovozne grede sandučastog poprečnog preseka sa dva srednja oslonca, čelične rešetke sastavljene od I-profila i CHS-profila. Proračun je sproveden u softveru AxisVM X6 sa usvojenim linijskim elementima. Provere nosivosti preseka i stabilnosti ploča sandučastog preseka urađeni su „ručnim“ putem. Rezultati provere upoređeni su sa rezultatima „softverskog“ proračuna. Takođe je odrađena provera nosivosti i krutosti veza i upoređena sa „softverom“ IDEA StatiCA. Prikazani su i radionički crteži i sklopovi urađeni u softveru Advance Steel.

Ključne reči: Čelični most, AxisVM, Advance Steel, Dlubal RFEM

Abstract – This paper presents the static and dynamic calculation of the bridge with a span of 70+100+70m, and the dimensioning of the elements. The bridge is made of steel, quality S355, and consists of elements, road beams with a box cross-section, and the two middle supports are steel gratings made of I-profiles and CHS-profiles. The calculation was performed in AxisVM X6 software, in which line elements were adopted. The load-bearing capacity of the section was checked "manually", including the stability check of the slabs of the box section. That check was compared to a "software" calculation. The bearing capacity and stiffness of the connections were also checked and compared with IDEA StatiCA "software". Workshop drawings and assemblies made in Advance Steel software are also shown.

Keywords: Steel bridge, AxisVM, Advance Steel, Dlubal RFEM

1. UVOD

Projektni zadatak podrazumevao je premošćavanje prirodne prepreke, doline 60m, na trasi E-761 koja se izmešta zbog izgradnje autoputa. Kao rešenje premošćavanja izabran je čelični sandučasti nosač zbog svoje efikasnosti u prenosu opterećenja spram utroška materijala i lakoće montaže.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Andrija Rašeta, vanr. prof.

Preliminarno usvajanje veličine i oblika sandučastog nosača kolovozne grede sprovedeno je prema dosadašnjim preporukama iz literature [1,2]. Ostatak elemenata je usvojen na osnovu buduće približne statičke analize i uticaja koji utiču na izvijanje elemenata.

Posle usvojenih preseka, urađeno je modeliranje mosta u softveru AxisVM, a nanošenje opterećenja prema Evrokodu 1990 i Aneksu A1 i A2. Kombinacije opterećenja podrazmevale su i uključivanje imperfekcija u obliku opterećenja.

Zatim je odrađena provera nosivosti, uz dokaz stabilnosti, najopterećenijih stubova rešetke i grede na koju naleže most srednjim osloncima na dužini 70m od oporaca.

Dokaz nosivosti poprečnog preseka kolovozne grede urađen je proverom izbočavanja limova prema 1993-1-5.

Poračun je podrazumevao i proračun nosivosti par karakterističnih veza, u zavarenoj izvedbi i izvedbi sa zavrtnjevima prema 1993-1-8.

Obimnost broja elemenata za izradu, predstavljen je sklopom na koji naleže kolovozna greda i njegovim radioničkim crtežima. Kolovozna greda predstavljena je karakterističnim segmentom koji se ponavlja, i razlikuje se ukrućenjem na osloncu.

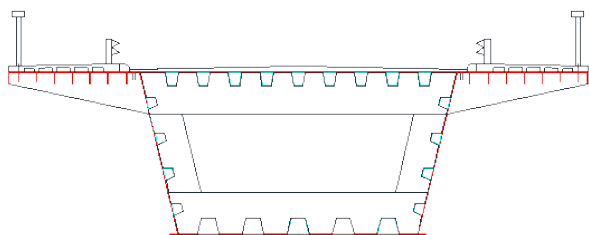
**2. OPIS, MODEL KOSNTRUKCIJE I
OPTEREĆENJA**

Statički sistem mosta je kontinualna greda preko tri polja 70+100m+70m, zglobno oslonjena na oporce, krajnje betonske oslonce dok su srednji oslonci vertikalne rešetke.

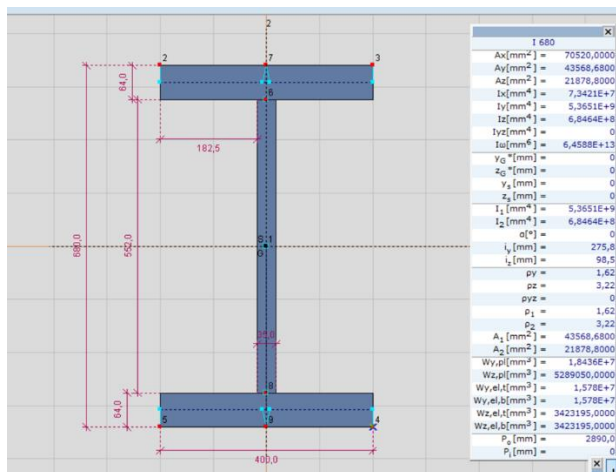
Prema vrsti pravca most je klasifikovan kao most u pravcu.

Kolovozna greda je sandučasti segment koji se ponavlja na svakih 4m, dok na osloncima taj segment ima vertikalno ukrućenje na 2m, Slika 1. Most je konstantnog poprečnog preseka. Gornja ploča je ortotropna ploča sa trapeznim ukrućenjima, torziona kruta. Donja ploča je takođe istog tipa, kao i bočne. Konzole kao pešačke staze su takođe ortotropne ploče ali sa torziona mekim ukrućenjima, u obliku pravih flakova. Debljine gornjih limova su 22mm, a bočnih 16mm. Ukrućenja donje ploče su debljine 9mm, a gornjih 8mm. Vertikalni limovi, ukrućenja, su debljine 12mm.

Greda na koju se oslanja greda sa tri poprečna oslonca je I profila, 680x400 i kruto je vezana na zakošene, vertikalne stubove, Slika 2.

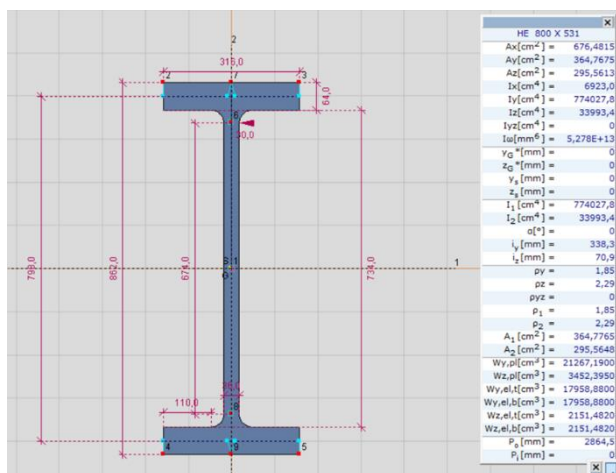


Slika 1. Poprečni presek mosta



Slika 2. Greda za oslanjanje

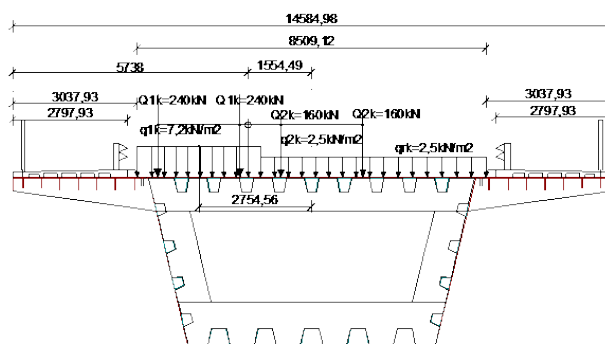
Stubovi su HE I profili 800x531. Spajani su vertikalnim limovima u rebro i nožici da bi se omogućila montaža i nastavak rešetke, Slika 3.



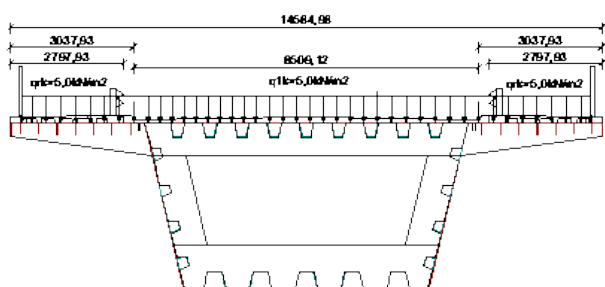
Slika 3. Stubovi

Analiza opterećenja urađena je u skladu sa standardom Evrokod 1990/A2 i 1991: sopstvena težina, automatski generisana u softveru AxisVM x6, dodatno stalno opterećenje od asfaltnog zastora i instalacija, sneg, vetar, sile kočenja. Saobraćajno opterećenje je modelirano kao linijsko rezultat je raspodele iz standarda, LM1 Slika 4. Zatim, opterećenje od pešačke navale, LM4 Slika 5. Ta opterećenja su uvrštena u grupe saobraćajnih opterećenja prema 1991-2, 4.5.1. Grupe saobraćajnih opterećenja su komponente kombinacija opterećenja prema EN 1990/A2.

Seizmičko opterećenje je zadato preko elastičnog spektra odgovora faktora ponašanja $q=3,5$ i $a_{gR}=0,2g$. Razmatrana su dva horizontalna i vertikalni pravac. Prethodno je urađena modalna analiza za vrednost mase $G+0,2 \cdot LM1$.

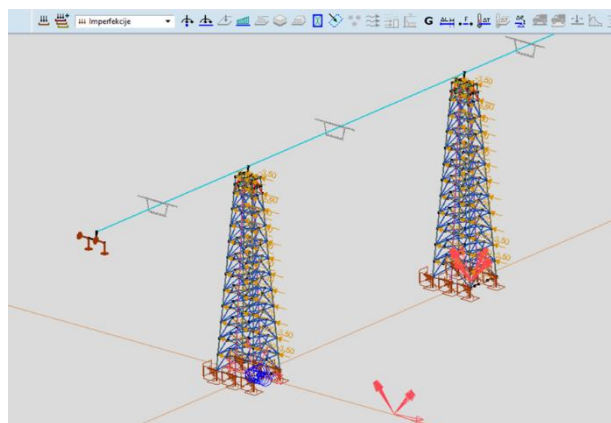


Slika 4. LM1 opterećenje



Slika 5. LM4 opterećenje

Kako čelična kosnrukcija poseduje nesavršenosti izvođenja i proizvodnje, njih standard prepoznaje kao imperfekcije, globalne i lokalne, Slika 6. Globalne imperfekcije zakosjenja su razmatrane kao opterećenje horizontalnim silama u nivoima horizontalnih spregova a sve prema standardu Evrokod 3 i uslovu $\alpha_{cr}=F_{cr}/F_{Ed}>15$. U slučaju posmatrane konstrukcije mosta $\alpha_{cr}=10,21$.



Slika 6. Imperfekcije

Prema zahtevu standarda, most je podvrgnut dinamičkom opterećenju preko Time history analize, tj. zadavanju pomeranja oslaonaca putem akcelorograma veštački generisanog od Evrokod spektra i tri realna zemljotresa.

2. DIMENZIONISANJE ELEMENATA

Kako je konstrukcija zahtevala uvođenje imperfekcija, sa linearno elastičnom analizom koja zanemaruje materijalnu nelinearnost i zasniva se na idealno elastičnoj vezi između napona i dilatacija, korišćena ja Globalna analiza II reda, koja uzima u obzir globalne imperfekcije

(P-Δ), dok se lokalne imperfekcije ne uvode ali se kontrolišu preko kontrole pojedinačnih elemenata na izvijanje, Slika 7.

Model i imperfekcije		
Globalne i lokalne imperfekcije	Samo globalne imperfekcije	Bez imperfekcija*
Metoda analize		
Globalna analiza II reda	Globalna analiza II reda	Globalna analiza I reda
Kontrole nosivosti		
Kontrola nosivosti preseka	Kontrola nosivosti stubova na izvijanje Dužina izvijanja: $L_{cr} = h$	Kontrola nosivosti stubova na izvijanje Dužina izvijanja: $L_{cr} = \beta h; \beta > 1$
* Imperfekcije se ne uzimaju u obzir samo pri proračunu stabilnosti stubova. Kada se određuju uticaji u gredama i vezama greda-stub globalne imperfekcije treba da se uzmu u obzir (na primer preko ekvivalentnih horizontalnih sila) kada kriterijum dat izrazom (4.2) to nalaže.		

Slika 7. Tip analize [3]

Urađen je proračun i kontrola nad najopterećenijim stubom u dnu rešetke kao i najvišem stubu u poslednjem segmentu za montažu koji kombinuje normalnu silu i momenat savijanja prenet sa grede na koju se oslanja kolovozna greda. Nosivost na pojedinačne otpornosti je zadovoljena, M_{Rd} , N_{Rd} , V_{Rd} .

Svi elementi su pretpostavljeni kao klase 1, što je i potvrđeno prilikom proračuna, Slika 8. Time se omogućava plastifikacija preseka za seizmičke kombinacije. Takođe, sve vrste izvijanja su u dozvoljenim granicama, fleksiono, torziono, bočno torziono izvijanje i interakcija normalna sila-savijanje-fleksiono izvijanje. Proračun je upoređen i sa proračunom softvera, Slika 9.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{Lt} \cdot M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{Lt} \cdot M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{676}{1,0 \cdot 2,50E + 04/1,0} + 0,35069 \cdot \frac{2293 + 0,0}{1,0 \cdot \frac{6532,00}{1,0}} + 0,54038 \cdot \frac{79 + 0,0}{1,0 \cdot 1877,61/1,0} \leq 1$$

$$\frac{676}{1,0 \cdot 2,50E + 04/1,0} + 0,35069 \cdot \frac{2293 + 0,0}{1,0 \cdot \frac{6532,00}{1,0}} + 0,79884 \cdot \frac{79 + 0,0}{1,0 \cdot 1877,61/1,0} \leq 1$$

$$0,284 < 1$$

$$0,184 < 1$$

Slika 8. Zadovoljenje prema Globalnoj analizi II reda

Kontrola nosivosti kolovozne grede odrađena je za dva preseka, na srednjem osloncu i u sredini srednjeg polja, uz kontrolu dejstva na poprečne sile od uticaja koji se dobijaju prilikom lansiranja prednjeg dela mosta, na dužini od 30m.

Kontrola je vršena tako što se svi pritisnuti delovi ploča proveravaju na izbočavanje. Vitkost svakog dela ploče, ukrućenja je upoređivana sa kriterijumom SRPS EN 1993-1-5, 4.4(2).

Delovi koji imaju veću vitkost, uklanjani su iz poprečnog preseka korišćenjem koeficijenta redukcije ρ . Zatim je vršena provera čistog izbočavanja (površinsko ponašanje izbočavanja ploče), stubno ponašanje, i interakcija površinskog i stubnog ponašanja. Korišćen je kriterijum za ortotropne ploče jer sve ploče imaju više od dva ukrućenja u pritisnutom pojasu.

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + f_{yy} \cdot \frac{|N_{Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot N_{pl,Rd}} \right) = 0,4 \cdot \left(1 + 0 \cdot \frac{|(-6,1616 \cdot 10^5)|}{1,00 \cdot 2,3624 \cdot 10^7} \right) = 0,4$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24 \quad \text{Table Annex B.1}$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + f_{zz} \cdot \frac{|N_{Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot N_{pl,Rd}} \right) = 0,601 \cdot \left(1 + 0 \cdot \frac{|(-6,1616 \cdot 10^5)|}{1,00 \cdot 2,3624 \cdot 10^7} \right) = 0,601 \quad \text{Table Annex B.1}$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}}; 1 \right) = 1,00 \quad (6.49)$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}}; 1 \right) = 0,95 \quad (6.49)$$

$$\eta_{NMBuck1} = \frac{|N_{Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{|M_{y,Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{|M_{z,Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot W_{pl,z} \cdot f_{yk}} =$$

$$= \frac{|(-6,1616 \cdot 10^5)|}{1,00 \cdot 7,052 \cdot 10^4 \cdot 335} + 0,4 \cdot \frac{|2,1494 \cdot 10^9|}{1,8436 \cdot 10^7 \cdot 335} + 0,361 \cdot \frac{|(-8,079 \cdot 10^7)|}{5,2891 \cdot 10^6 \cdot 335} = 18,2 \% \quad (6.61)$$

$$\eta_{NMBuck2} = \frac{|N_{Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{|M_{y,Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{|M_{z,Ed}|}{\gamma_{M1} \cdot W_{pl,z} \cdot f_{yk}} =$$

$$= \frac{|(-6,1616 \cdot 10^5)|}{0,95 \cdot 7,052 \cdot 10^4 \cdot 335} + 0,24 \cdot \frac{|2,1494 \cdot 10^9|}{1,8436 \cdot 10^7 \cdot 335} + 0,601 \cdot \frac{|(-8,079 \cdot 10^7)|}{5,2891 \cdot 10^6 \cdot 335} = 13,8 \% \quad (6.62)$$

$$\eta_{NMBuck1} = 18,2 \% \quad \text{passed}$$

3. Axial force-Bending-Lateral torsional buckling

EN 1993-1-1: 6.3.3, Annex B: Method 2

Critical section: $x = 0,000$; $L = 0,000$; $2000 = 0$ mm

$C_{my} = \max(0,2 + 0,8 \cdot a_{my}, 0,4) = \max(0,2 + 0,8 \cdot 0,244, 0,4) = 0,4 \geq 0,4 \quad \text{Table B.3}$

$C_{mz} = \max(0,2 + 0,8 \cdot a_{mz}, 0,4) = \max(0,2 + 0,8 \cdot 0,501, 0,4) = 0,601 \geq 0,4 \quad \text{Table B.3}$

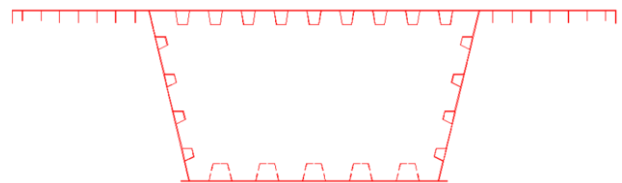
$C_{mLT} = \max(0,2 + 0,8 \cdot a_{mLT}, 0,4) = \max(0,2 + 0,8 \cdot 0,244, 0,4) = 0,4 \geq 0,4 \quad \text{Table B.3}$

$f_{yy} = \min(\lambda_y \cdot -0,2; 0,8) = \min(0,09 - 0,2; 0,8) = 0$

Slika 9. Zadovoljenje prema Globalnoj analizi II reda, softver

Tako su dobijene efektivne površine poprečnih ploča.

Kako tankozidni preseki imaju efekat koncentracije napona u flanšama usled smičućih sila u rebrima, Evrokod predviđa i uvođenje shear lag efekta. Određuje se koeficijent redukcije za pritisnute i zategnute delove ploča. Na taj način se dobija konačni poprečni presek sa redukovanim dužinama ploča koje se izbočavaju i stanjenim delovima ploča koje potiču od shear lag efekta, Slika 10.



Slika 10. Efektivne geometrijske karakteristike kompletnog poprečnog preseka

Sledi provera nosivosti kompletnog poprečnog preseka sa dobijenim geometrijskim karakteristikama, moment inercije i površina:

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y \cdot I_{eff}}{\gamma_{M0} \cdot h_{T,eff}} = \frac{355 \text{ MPa} \cdot 1,658 \text{ m}^4}{1,0 \cdot 2,5649} = 228,37 \text{ MNm}$$

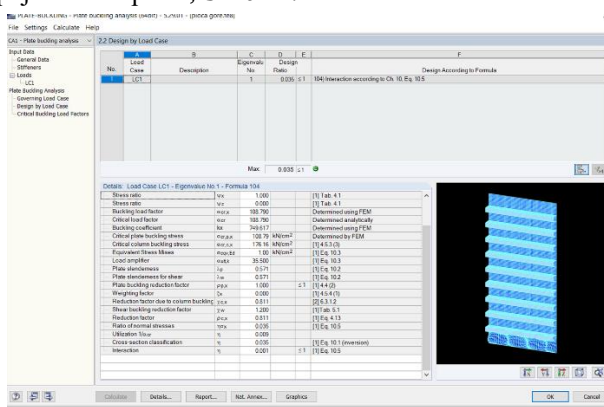
$$\eta_1 = \frac{176,27 \text{ MNm}}{228,37 \text{ MNm}} = 0,772$$

Urađena je i provera smičuće nosivosti sa ili bez doprinosa nožica u zavisnosti od iskorišćenja nosivosti kod nosivosti na savijanje:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 =$$

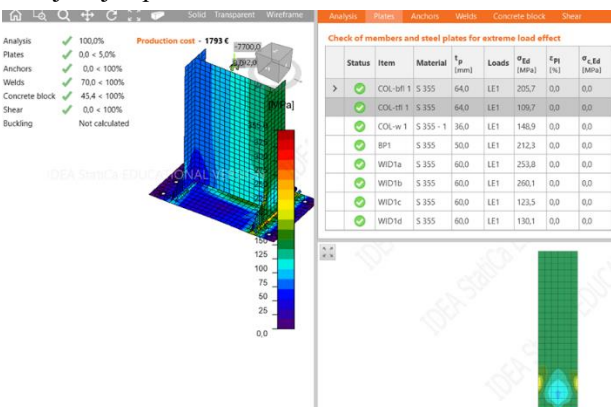
$$= 0,669 + (1 - 0,769)(2 \cdot 0,36 - 1)^2 = 0,687$$

Presek u polju upoređen je sa softverskim proračunom u programu Dlubal RFEM i njegovim modulom za pojedinačne ploče, Slika 11.



Slika 11. Provera karakteristika ploča – Dlubal RFEM

Proračun veza urađen je prema EN 1993-1-8, dve momentne veze i jedna zglobova, a momentna veza sa temeljom je upoređena sa softverom Idea StatiCA.



Slika 12. Provera karakteristika ukļještenja – Dlubal RFEM

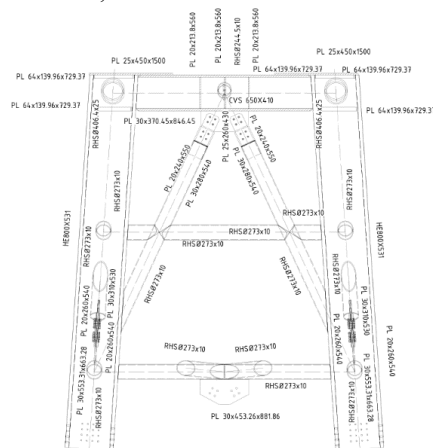
3. POREĐENJE REZULTATA

Rad sadrži i poređenje rezultata uticaja od saobraćanog opterećenja V600 po starim propisima i LM1 po novim propisima EC1. Poređenje rezultata momenta savijanja i transferzalne sile, izvršeno je za srednji oslonac i „naglavnu gredu“ na koju se oslanja. Normalna sila je poređena u najopterećenijem stubu. Kombinacije opterećenja su sadržale sopstvenu težinu, dodatno stalno opterećenje i korisno opterećenje, za kombinaciju 1. Kombinacija 2 je seizmička kombinacija sa stalnim opterećenjem, a mase za modalnu analizu su od sopstvene težine, dodatnog stalnog opterećenja i 0,2 vrednosti LM1 i V600.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je primer implementacije prevashodno EC3, tj proračun čeličnih elemenata, pločastih, linijskih, i njihovih veza. Želja autora bila je, da se primena izvrši na objektu višeg značaja od objekata zgradarstva, te je primeni EC3 prethodila primena EC0 i EC1 za analizu opterećenja mostova, a kasnije i konstruisanje istih. Takođe, pružen je i uporedni proračun omogućen standardom i proračun softverom (AxisVM, Dlubal RFEM, Idea StatiCA, gde je to bilo moguće.

Proračunati elementi dati su kao crteži za sklopove i radioničku izradu, Slika 13.



Slika 13. Radionički sklop

Poređenje rezultata uticaja od saobraćanog opterećenja V600 po starim propisima i LM1 po EC1, prikazuje da nema značajne razlike u vrednostima koje bi uticale na nosivost i dimenzionisanje konstrukcije, Slika 14.

Linear - ec	
x[m]	= 50,000
Nx [kN]	= -133,75
Vy [kN]	= -5,23
Vz [kN]	= 170,15
Tx [kNm]	= 749,942
My [kNm]	= -78088,520
Mz [kNm]	= -521,017

Linear - V600 nad osloncem	
x[m]	= 50,000
Nx [kN]	= -138,14
Vy [kN]	= -2,10
Vz [kN]	= 71,85
Tx [kNm]	= 701,446
My [kNm]	= -80327,210
Mz [kNm]	= -287,057

Slika 14. Poređenje rezultata uticaja od saobraćanog opterećenja LM1 po EC1 i V600 po starim propisima

5. LITERATURA

- [1] Rašeta A., Džolev I., 2018, Predavanje iz predmeta: Mostovi i projektovanje betonskih i metalnih mostova
- [2] Mr Bratislav Stipanić, dipl. inž., Mr Dragan Buđevac, dipl inž., „Čelični mostovi“, Beograd, 1989.
- [3] Marković, Zlatko „Granična stanja čeličnih konstrukcija prema Evrokodu“, 2014
- [4] Jovanović Đorđe, Živaljević Vladimir, “Projektovanje betonskih i čeličnih mostova” 2021, materijal za vežbe

Kratka biografija:



Milan Nikolić rođen je u Kraljevu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo - Konstrukcije odbranio je 2023.god.
Kontakt: milan.nikolic@yahoo.com

КОНТРОЛА ГРАНИЧНОГ СТАЊА УПОТРЕБЉИВОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЈА ПРИ ОГРАНИЧЕНОМ ПРЕДНАПРЕЗАЊУ ПРИМЕНОМ РАЗВИЈЕНОГ MATLAB АЛАТА**SERVICEABILITY LIMIT STATE CHECK AND OPTIMIZATION IN LIMITED PRE-STRESSING USING THE DEVELOPED MATLAB TOOL**

Александар Кањевац, Драго Жарковић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област: – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – У оквиру овог рада приказана је контрола граничног стања употребљивости и оптимизација преднапрегнуте греде путем алата развијеног у Matlab окружењу. Концепт анализе заснива се на идеји искоришћења капацитета чврстоће бетона на затезање у домену ограниченог преднапрезања. За ову врсту анализе креиран је алат у Matlab-у, намењен за „локални“ ниво анализе, у прелиминарним фазама прорачуна. Током рада, тема је обрађена кроз три целине. Кроз увод говори се о могућности уштеде материјала при изради преднапрегнутих конструкција, и приступу анализи са аспекта граничног стања употребљивости. Затим, кроз друго поглавље стичу се основне информације о концепту преднапрезања. Коначно, у трећем поглављу говори се о току анализе преднапрегнуте греде путем алата развијеног у Matlab окружењу. Развијени софтверски алат у могућности је одредити почетну силу преднапрезања у складу са допуштеним напонима у челику и бетону. На основу почетне силе преднапрезања одредити потребан број ужади за формирање каблова. Након тога, приказати губитке силе преднапрезања, као и вредности коначне силе преднапрезања након временских губитака. Алат поседује могућност контроле напона у бетону у тренутку утезања каблова, као и у току експлоатације.

Кључне речи: *преднапрегнути бетон, гранично стање употребљивости, Matlab, софтверски алат*

Abstract: In this scientific paper, the control of the serviceability limit state and optimization of a prestressed beam using a tool developed in the Matlab environment are presented. The concept of the analysis is based on the idea of using the tension strength capacity of concrete in the domain of limited prestress. For this analysis, a Matlab tool was used, intended for the "local" level of analysis, in the preliminary stages of calculations. The paper consists of the three chapters. In the first chapter it is showed possibility of saving materials when create prestressed beam, and approach to analysis from the aspect of the serviceability limit state. Then, through the second chapter, it is processed basic information about the concept of prestressing. Finally, the third chapter describes the flow of prestressed girder analysis using a

tool developed in the Matlab environment. The developed software tool is able to determine the initial prestressing force in accordance with the allowed stresses in steel and concrete. Then, based on the initial prestressing force, determine the required number of strand to form the tendons. After that, show the losses of the prestressing force, as well as the values of the final prestressing force after the time losses. The tool has the ability to control the stress in the concrete at the moment cable tensioning, as well as during exploitation.

Keywords: *prestressed concrete, serviceability limit states, Matlab, software tool*

1. УВОД

Пројектовању преднапрегнутих гредних елемената приступа се у случајевима када класични гредни елементи од армираног бетона не могу задовољити критеријуме савладавања захтеваних распона. У том процесу веома је важно искористити пуну ефикасност употребе преднапрегнутих гредних елемената.

Познато је да се применом преднапрегнутог бетона у односу на класични армирани бетон може остварити уштеда у бетону од 20-30% (захваљујући пуном суделовању затегнуте зоне бетонског пресека), док су уштеде у челику су још израженије и износе 50-60%, те се могу остварити применом оптимизованих алата током процеса пројектовања.

У складу са тим, у овом раду приказана је контрола граничног стања употребљивости преднапрегнуте греде применом алата развијеног у Matlab окружењу, са циљем оптимизације димензија носача током процеса пројектовања.

2. КОНЦЕПТ ПРЕДНАПРЕЗАЊА

Концепт преднапрезања заснива се на идеји утезања притиском. Идеја се темељи на уносу преднапона тј. притиска на местима где ће се у експлоатацији појавити напони затезања. Тако да се, у експлоатацији напон притиска изазван преддеформацијом треба прво савладати да би се након тога појавило затезање у том делу носача.

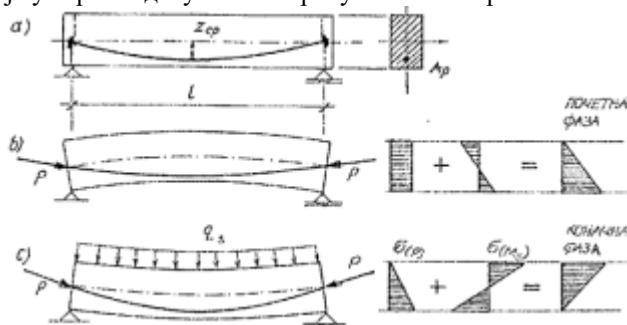
Посматра се пресек у средини гредног носача (слика 1.). Систем просте греде, са параболичном трасом кабла. Слика 1, б) представља стање у тренутку утезања носача. Наиме, у том тренутку сопствена тежина представља једино присутно оптерећење.

Након уноса силе притиска у носач, напонско стање представљено је појавом напона притиска у доњој зони носача управо на месту где се у експлоатацији

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Драго Жарковић.

очекује појава напона затезања. Затим, након оптерећења носача корисним оптерећењем у експлоатационом периоду долази до промене напонског стања. Напон притиска који је „прикупљен“ у почетној фази почиње да се постепено „троши“ под дејством корисног оптерећења. Уколико се носач пројектује по систему потпуног преднапрезања, у носачу се не допушта појава напона затезања. Слика 1. с) приказује коначну фазу, тј. фазу у експлоатацији. Фаза у експлоатацији представљена је неутрализацијом напона у доњем делу носача, док је у горњем делу носача присутан напон притиска.



Слика 1.-Концепт преднапрезања

3. АНАЛИЗА ПРЕДНАПРЕГНУТЕ ГРЕДЕ У MATLAB СОФТВЕРСКОМ АЛАТУ

Анализира се гредни елемент, са улазним подацима:

- распон гредног носача(L):.....20m,

и следећа оптерећења,

- стално оптерећење (g):.....10 [kN/m'],
- додатно стално оптерећење (g1):..... 0 [kN/m'],
- корисно оптерећење (q1):..... 13 [kN/m'],
- корисно оптерећење (q2):..... 4 [kN/m'],

као и коефицијенти категорије корисних оптерећења,

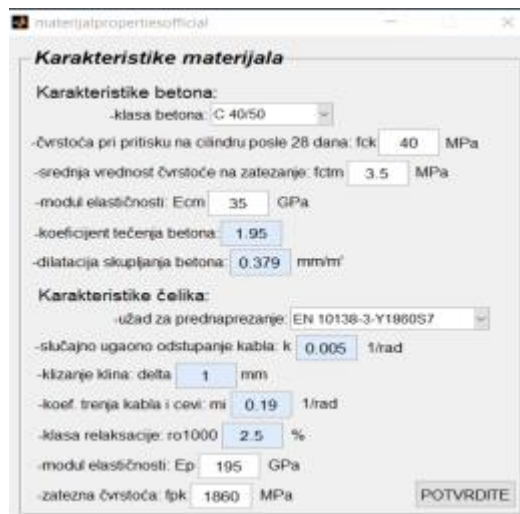
- коефицијент категорије (q1):.....0.7,
- коефицијент категорије (q2):.....0.7,
- квази-стална комбинација (q1):.....0.6,
- квази-стална комбинација (q1):.....0.2.

Статички систем просте греде, са обостаним утезањем каблова. Котве за преднапрезање су активне са обе стране носача. Геометријске карактеристике носача дате су на слици 2. Дефинисање пресека остварено је кликом на дугме „Дефинисање пресека“, чијим активирањем се отвара прозор (слика 2.)

Почетни корак састоји се од уноса улазних података неопходних за даљу анализу. Улазни подаци дефинишу се у одељку „Улазни подаци“. Кликом на дугме „Дефинишите материјал“ отвара се поље за одабир карактеристика материјала. (слика 3).



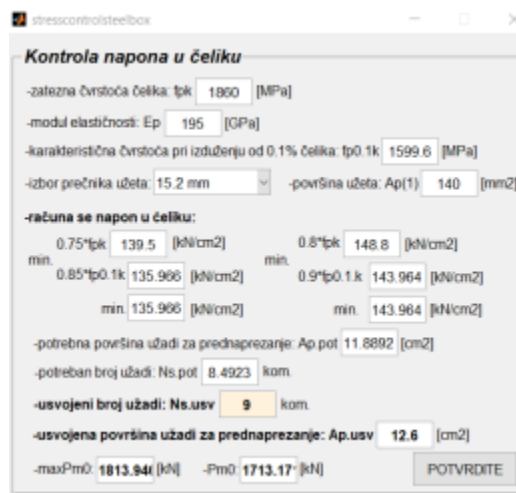
Слика 2.- Прозор за дефинисање пресека



Слика 3.- Дефинисање материјала

Кликом на дугме „Покрените прорачун“, покреће се статичка анализа носача. Затим, након завршетка рада у панелу „Улазни подаци“ прелази се на панел „Почетна сила преднапрезања“.

Контрола напона у бетону и челику спроводи се у склопу програмског алгорита. Неопходно је спровести контролу према напонима у челику, кликом на дугме „Контрола напона у челику“ активирамо панел (слика 4).



Слика 4.- Контрола напона у челику

На основу одабраних карактеристика материјала и допуштених напона у челику потребно је усвојити број ујади.

Након тога, стиче се увид у вредност силе преднапрезања која се аутоматски усваја у складу са допуштеним вредностима напона у челику и бетону.

Следећи корак захтева усвајање броја каблова. У овом случају усвојена су 3 кабла, са по три ужета Ø15 у склопу једног кабла. Усвајањем броја каблова стекли су се услови за даљу анализу, те кликом на дугме „Покрените графички приказ резултата“ исцртава се графички приказ губитака силе преднапрезања.

Затим „Преглед губитака силе преднапрезања“ приказује табеларни приказ губитака у посматраним пресецима гредног носача (слика 5.).

Софтверски алат може спровести и контролу напона у тренутку утезања каблова, као и у временском тренутку експлоатације. Кликком на дугме „Контрола напона дуж носача“ спроводи се анализа и у оквиру табеларне форме исписују се вредности напона у посматраном тренутку времена. (Управо тако можемо стећи увид да ли носач пројектујемо по степену потпуног преднапрезања (без појаве напона затезања), или пак допуштамо контролисану појаву напона затезања у експлоатационом периоду (ограничено преднапрезање, слика 6.).

reviewlosinginbeam

Pregled gubitaka sile prednaprezanja

-Gubici sile prednaprezanja usled trenja:

	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	9-9	10-10
x [m]	0	0.5000	1	1.5000	2	2.5000	3	3.5000	4	4.5000
y-položaj kabla [m]	0	0.0481	0.0938	0.1370	0.1777	0.2160	0.2518	0.2851	0.3169	0.3462
tng	0.0987	0.0938	0.0889	0.0839	0.0790	0.0741	0.0691	0.0642	0.0593	0.0544
alfa(i-i) [rad]	0.0984	0.0935	0.0886	0.0837	0.0788	0.0739	0.0690	0.0641	0.0592	0.0543
teta(i-i) [rad]	0	0.0049	0.0098	0.0147	0.0196	0.0245	0.0294	0.0343	0.0392	0.0441
deltaPmi(x) [kN]	0	2.4043	4.8087	7.2071	9.6055	12.0017	14.3957	16.7873	19.1767	21.5683
Pm0.mi=Pm0-deltaPmi(x) [kN]	1.7132e+03	1.7108e+03	1.7084e+03	1.7060e+03	1.7036e+03	1.7012e+03	1.6988e+03	1.6964e+03	1.6940e+03	1.6916e+03

-Gubici sile prednaprezanja usled uvlačenja klina:

	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	9-9	10-10
x [m]	0	0.5000	1	1.5000	2	2.5000	3	3.5000	4	4.5000
deltaPsi(x) [kN]	68.9061	64.0750	59.2438	54.4127	49.5815	44.7504	39.9192	35.0881	30.2569	25.4258

-Gubici sile prednaprezanja usled elastičnih deformacija:

	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	9-9	10-10
x [m]	0	0.5000	1	1.5000	2	2.5000	3	3.5000	4	4.5000
Pm0.mi(i-i) [kN]	1.7132e+03	1.7108e+03	1.7084e+03	1.7060e+03	1.7036e+03	1.7012e+03	1.6988e+03	1.6964e+03	1.6940e+03	1.6916e+03
deltaPel(x) [kN]	19.8209	19.7931	19.7653	19.7375	19.7097	19.6820	19.6543	19.6267	19.5990	19.5714

-Trenutni gubici sile prednaprezanja:

	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	9-9	10-10
x [m]	0	0.5000	1	1.5000	2	2.5000	3	3.5000	4	4.5000
Pm0 [kN]	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03
deltaPmi(x) [kN]	0	2.4043	4.8087	7.2071	9.6055	12.0017	14.3957	16.7873	19.1767	21.5683
deltaPsi(x) [kN]	68.9061	64.0750	59.2438	54.4127	49.5815	44.7504	39.9192	35.0881	30.2569	25.4258
deltaPel(x) [kN]	19.8209	19.7931	19.7653	19.7375	19.7097	19.6820	19.6543	19.6267	19.5990	19.5714
Pmi(t) [kN]	1.6244e+03	1.6269e+03	1.6294e+03	1.6318e+03	1.6343e+03	1.6367e+03	1.6392e+03	1.6417e+03	1.6441e+03	1.6466e+03

-Vremenski gubici sile prednaprezanja:

	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7	8-8	9-9	10-10	11-11
x [m]	0	0.5000	1	1.5000	2	2.5000	3	3.5000	4	4.5000	5.5000
Pm0 [kN]	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03	1.7132e+03
Pm(t0) [kN]	1.6244e+03	1.6269e+03	1.6294e+03	1.6318e+03	1.6343e+03	1.6367e+03	1.6392e+03	1.6417e+03	1.6441e+03	1.6466e+03	1.6491e+03
Pm(t) [kN]	1.4152e+03	1.4173e+03	1.4194e+03	1.4216e+03	1.4237e+03	1.4259e+03	1.4280e+03	1.4302e+03	1.4323e+03	1.4345e+03	1.4366e+03

POTVRDITE

Слика 5.- Контрола напона у пресецима носача

stresscontrolinbeam

Kontrola napona duž nosača

	10-10	11-11	12-12	13-13	14-14	15-15	16-16	17-17	18-18	19-19	20-20	21-21
x [m]	4.5000	5	5.5000	6	6.5000	7	7.5000	8	8.5000	9	9.5000	10
y [m]	0.3444	0.3703	0.3937	0.4147	0.4332	0.4493	0.4628	0.4740	0.4826	0.4888	0.4925	0.4937
Mg(i-i) [kNm]	348.7500	375	398.7500	420	438.7500	455	468.7500	480	488.7500	495	498.7500	500
Mk(i-i) [kNm]	899.7750	967.5000	1.0288e+03	1.0836e+03	1.1320e+03	1.1739e+03	1.2094e+03	1.2384e+03	1.2610e+03	1.2771e+03	1.2868e+03	1.290
Pm0 [kN]	8466e+03	1.6491e+03	1.6516e+03	1.6540e+03	1.6565e+03	1.6590e+03	1.6615e+03	1.6640e+03	1.6665e+03	1.6690e+03	1.6715e+03	1.6740e+03
Pm(t) [kN]	4345e+03	1.4366e+03	1.4388e+03	1.4409e+03	1.4431e+03	1.4453e+03	1.4475e+03	1.4497e+03	1.4519e+03	1.4541e+03	1.4563e+03	1.4585e+03
t0-sigma10<=fcm2-bottom (pressure)	0.7723	0.7933	0.8125	0.8301	0.8459	0.8600	0.8693	0.8756	0.8800	0.8825	0.8832	0.8820
t0-sigma10<=0.6*fck-bottom (pressure)	z gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.
t0-sigma20<=fctm-top (tension)	0.2802	0.2621	0.2455	0.2305	0.2172	0.2054	0.1961	0.1887	0.1831	0.1793	0.1773	0.1769
t0-sigma20>=fctm-top (tension)	z gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.
t-sigma1t<=fctm-bottom (tension)	-0.0199	-0.0538	-0.0842	-0.1111	-0.1345	-0.1545	-0.1738	-0.1906	-0.2042	-0.2144	-0.2212	-0.2247
t-sigma1t>=fctm-bottom (tension)	z gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.
t-sigma2t<=0.6*fck-top (pressure)	0.8603	0.8908	0.9182	0.9426	0.9640	0.9825	0.9986	1.0121	1.0228	1.0306	1.0355	1.0375
t-sigma2t>=0.6*fck-top (pressure)	z gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.

Obaveštenje: Kriterijumi naponskog stanja su zadovoljeni duž nosača. U nosaču se ne pojavljuju prsline.

POTVRDITE

Слика 6.- Контрола напона у пресецима носача

Међутим, предност развијеног алата огледа се у могућности брзе итерације. Тако се у другој итерацији коригује висина носача на $h = 115 \text{ cm}$. Само променом висине без корекције осталих вредности постиже се оптимизација носача и

повећање искоришћености чврстоће бетона на затезање за 23%. У носачу се јавља напон затезања у износу од $\sigma_z = 0.3090 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$ у временском тренутку експлоатације. (слика 7.)

stresscontrolinbeam

Kontrola napona duž nosača

	10-10	11-11	12-12	13-13	14-14	15-15	16-16	17-17	18-18	19-19	20-20	21-21
x [m]	4.5000	5	5.5000	6	6.5000	7	7.5000	8	8.5000	9	9.5000	10
y [m]	0.3265	0.3511	0.3733	0.3932	0.4108	0.4260	0.4389	0.4494	0.4576	0.4635	0.4670	0.4681
Mg(i-j)[kNm]	348.7500	375	398.7500	420	438.7500	455	468.7500	480	488.7500	495	498.7500	500
Mk(i-j)[kNm]	899.7750	967.5000	1.0288e+03	1.0836e+03	1.1320e+03	1.1739e+03	1.2094e+03	1.2384e+03	1.2610e+03	1.2771e+03	1.2868e+03	1.290
Pm(i-j)[kN]	6473e+03	1.6497e+03	1.6520e+03	1.6544e+03	1.6568e+03	1.6592e+03	1.6594e+03	1.6571e+03	1.6548e+03	1.6526e+03	1.6503e+03	1.6481e+03
Pm(tj)[kN]	4349e+03	1.4370e+03	1.4391e+03	1.4412e+03	1.4432e+03	1.4453e+03	1.4454e+03	1.4435e+03	1.4415e+03	1.4395e+03	1.4376e+03	1.4356e+03
t0-sigma10[kN/cm2]-bottom (pressure)	0.7677	0.7873	0.8054	0.8218	0.8367	0.8499	0.8596	0.8653	0.8694	0.8716	0.8721	0.8709
t0-sigma10<=0.6*fck-bottom (pressure)	z. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.
t0-sigma20[kN/cm2]-top (tension)	0.3095	0.2926	0.2771	0.2632	0.2507	0.2398	0.2308	0.2240	0.2188	0.2153	0.2134	0.2131
t0-sigma20>=fctm-top (tension)	z. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.
t-sigma1t[kN/cm2]-bottom (tension)	-0.0760	-0.1149	-0.1499	-0.1810	-0.2081	-0.2312	-0.2522	-0.2712	-0.2864	-0.2978	-0.3053	-0.3090
t-sigma1t>=fctm-bottom (tension)	z. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.
t-sigma2t[kN/cm2]-top (pressure)	0.9329	0.9681	0.9997	1.0279	1.0526	1.0740	1.0923	1.1078	1.1200	1.1289	1.1344	1.1366
t-sigma2t<=0.6*fck-top (pressure)	z. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.	u doz. gran.

Obaveštenje: Kriterijumi naponskog stanja su zadovoljeni duž nosača. U nosaču se ne pojavljuju prsline.

POTVRDITE

Слика 7.- Контрола напона у пресецима носача

Констатује се да дозвољени напони нису прекорачени ни у тренутку утезања носача, како у зони притиска тако и у зони затезања. Извршена корекција проузроковала је смањење висине пресека за 5 cm. Имајући у виду да се рад бави преднапрегнутим гредним елементима који су подложни серијској производњи, остварена оптимизација остварује уштеду од $0,45 \text{ m}^3$, по гредном елементу распона 20 m.

4. ЗАКЉУЧАК

Анализа граничног стања употребљивости преднапрегнуте греде са тенденцијом искоришћености чврстоће бетона на затезање приказана је у овом раду. Представљена анализа гредног носача спроведена је коришћењем софтверског алата развијеног у Matlab програмском пакету, док су анализе спроведене са циљем оптимизације пресека носача, тако да се напон затезања у експлоатацији појави, али са недостизањем границе чврстоће бетона на затезање. Међутим, приметили смо да постоји простора за додатно повећање искоришћености разматраног параметра, те је извршена корекција висине пресека. Варирањем висине пресека повећана је искоришћеност чврстоће бетона на затезање и остварена оптимизација пресека. Имајући у виду да се тема рада бави контролом граничног стања употребљивости код преднапрегнутих носача, који су подложни серијској производњи остварена уштеда на разматраном примеру показује оптимизацију преднапрегнутог пресека остварену путем повећања искоришћености чврстоће бетона на затезање. Такође, оптимизовани приступ олакшан је применом алата развијеног у Matlab-у.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ђурђевић. М.: Преднапрегнути бетон основе, Грађевински факултет Универзитета у Београду.
- [2] Leonhart F.: Prednapregnuti beton u praksi (prevod sa nemačkog), Građevinska knjiga, Beograd, 1968.

- [3] Јевтић Д.: Преднапрегнути бетон 1, Грађевинска књига, Београд, 1979.
- [4] Теорија бетонских конструкција примери за вежбе, Депарتمان за грађевинарство и геодезију Нови Сад.
- [5] Пајовић Р.: Претходно напрегнути бетон, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет, 1999.

Кратка биографија:



Александар Кањевац рођен је у Краљеву 1998. године. Основну и средњу школу завршио је у Краљеву. Мастер рад на тему „Унапређење продуктивности при пројектовању преднапрегнутих носача помоћу алата развијених у Matlab окружењу“ на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смеру Грађевинарство-конструкције одбранио је 2023. године.

Контакт:
aleksandarp13@gmail.com



Драго Жарковић рођен је 1985. године у Задру. Од 2009.-2015. године радио као стално запослен у пројектним бироима а од 2015. године је запослен на Факултету техничких наука као асистент. Од 2021. године је запослен као доцент на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду.

ORGANIZACIJA GRAĐENJA U SPECIFIČNIM USLOVIMA – NA PRIMERU HOTELA U SREMSKIM KARLOVCIMA**ORGANIZATION OF CONSTRUCTION BY SPECIFIC CONDITIONS – ON THE EXAMPLE OF THE HOTEL IN SREMSKI KARLOVCI**

Stefan Madžarević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su analizirani specifični uslovi koji utiču na organizaciju građenja.

Ključne reči: organizacija, tehnologija, specifični uslovi

Abstract – The paper analyzes the specific conditions that affect construction organization.

Keywords: organization, technology, specific conditions

1. UVOD

Svaki građevinski objekat se razlikuje od ostalih po brojnim specifičnostima proisteklim iz karakteristika zadatih projektom i drugom dokumentacijom, lokalnim uslovima izvođenja ili dejstvima okruženja na organizacionu i finansijsku pripremu izgradnje. Tehnička dokumentacija je mesto gde se sve specifičnosti moraju susediti i međusobnu uskladiti na način na koji izvođača neće dovoditi u nedoumice u pogledu metoda i materijala za realizaciju tih specifičnosti.

Prilikom organizacije gradilišta u specifičnim uslovima bitno je predvideti i mere obezbeđivanja otpornosti i čvrstoće postojećih objekata koji se nalaze na trasi gradilišta.

Ovim radom su se analizirali specifični uslovi kao što je lokacija, iskop i deponovanje materijala, dopremanje materijala usled ograničenosti gabarita, fundiranje na šipovima kao i obezbeđenje same temeljne jame.

Veliki investicioni radovi angažuju velike količine resursa pa zahtevaju organizovanje radova na racionalan način, kada će svi pojedinačni culjevi učesnika u poslu biti podređeni glavnom – ostvarenju projektovanih karakteristika objekta u ugovorenom roku.

2. ORGANIZACIJA GRAĐENJA U SPECIFIČNIM USLOVIMA

Organizacija gradilišta je detaljan i dobro osmišljen proces koji obezbeđuje zdravo i bezbedno gradilište tokom čitave njegove izgradnje. Organizovano gradilište je gradilište koje dobro uspostavlja sistem dobre koordinacije između različitih delova koji se tiču same gradnje i vrši dobro planiranje lokacije.

NAPOMENA:

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

Generalno organizacija uključuje mnoge zadatke :

- istraživanje lokacije pre početka samog gradilišta
- upravljanje isporukom materijala i nabavkom
- održavanje dobre komunikacije na gradilištu i visokog nivoa protoka informacija
- redovno praćenje učinaka.

Prema knjizi dr Dragana Arizanovića „ Građevinski projekti – organizacija i realizacija“ među važnim zadacima upravljanja gradilišta je i planiranje samog izgleda predmetne lokacije.

Izgled gradilišta uključuje identifikaciju, dimenzionisanje i pozicioniranje privremenih objekata unutar gradilišta. Potrebni privremeni objekti i njihove površine zavise od mnogih faktora uključujući tip projekta, obim, tehnologiju, lokaciju i organizaciju građevinskih radova. Postoje dva opšta cilja koja planeri nastoje da ostvare kroz pažljivu organizaciju lokacije. Prvo, lokacija mora biti dizajnirana tako da maksimizira efikasnost operacije kako bi se maksimizirali produktivnost, smanjilo vreme projekta i smanjili troškove. Drugo, konačni plan mora da kreira projekat sa dobrim radnim okruženjem kako bi se zadržao najbolji kadar i time doprinelo boljem kvalitetu i produktivnosti rada. Ovo je posebno važno kod višegodišnjih projekata.

U procesu oblikovanja gradilišta potrebno je uzeti u obzir i sledeće principe:

- Sigurnost: Ovo je uslov iznad svih ostalih. Radnici moraju da koriste sigurnosna sredstva zaštite
- Pristupačnost: Unutrašnji putevi su neophodni za lak tok posla. Što su putevi organizovaniji i prohodniji to je brži i učinkovitiji protok i materijala i mehanizacije.
- Bezbednost: Granicu gradilišta treba organizovati sa bezbednosne tačke gledišta, jer se time štiti prvo okruženje, a zatim i samo gradilište na kome se nalaze sadržaji koje treba štiti.

Izgradnja složenih ili unikatnih objekata mora biti izvedena na osnovu obimnih istraživanja, ispitivanja i posmatranja režima pojave bitnih uticaja okruženja. Te mere iz grupe prethodnih radova su neophodne za sticanje što potpunije predstave o interakcijama u sistemu koji čine objekti i okruženja i podrazumevaju metode tehničke kontrole i organizaciju mernih stanica, poligona, punktova

i drugih posebnih radova koji trebaju da obezbede uslove za bezbedno izvođenje planiranih građevinskih radova i pouzdanu eksploataciju privremenih objekata.

Podaci dobijeni opisanim postupcima često ukazuju na stanje okruženja koja su raspoloživim tehnološkim sredstvima ne mogu držati pod neophodnom kontrolom. Inženjerski zadatak je tad složeniji, jer on mora da projektuje takva sredstva ili adaptira postojeću opremu kako bi omogućio kontinuitet radova. Projektantski timovi izvođača u sastav radne dokumentacije moraju tada uključiti i radne crteže za :

- Razupiranje zidova jama i rovova
- Izvođenje stojećih ili lebdećih šipova
- Primenu zaštitnih tehničkih mera prilikom izvođenja radova koji se odvijaju u blizini postojećih zgrada i objekata a imaju za cilj uklanjanje nadzemnih ili podzemnih objekata metodama eksplozivnih razaranja ili bušenja
- Primenom opreme i specijalnih uređaja neophodnih za izvođenje podzemnih objekata metodama betonskih dijafragmi
- Polaganje deonice podzemnih cevovoda metodom utiskivanja cevi u zemljište
- Veštačku stabilizaciju tla
- Izradu i primenu specijalnih tipova oplata
- Izradu nestrandardne opreme i uređaja za transport i montažu opreme, vangabaritnih i izuzetno teških tehnoloških celina.

3. PRIMER HOTELA U SREMSKIM KARLOVCIMA – ORGANIZACIJA GRAĐENJA U SPECIFIČNIM USLOVIMA

Tehnologija istražuje odvijanje proizvodnje u celini, a posebno radnog procesa, kao i pojedine činioce koji utiču na odvijanje radnih procesa i njihovu međusobnu zavisnost i relaciju.

Radni proces u građevinarstvu odvija se na prostoru na kome deluje ili manji broj radnika, mašina i postrojenja većeg ili manjeg kapaciteta. Tehnološki proces označava redosled i način obavljanja pojedinih delova složenog radnog procesa za dobijanje proizvoda određenih osobina. Rad obavljaju radnici, alati i mašine, a za izradu istog proizvoda mogu se primeniti razne tehnologije.

3.1 Specifičnosti koje utiču na poseban pristup organizaciji izgradnje

Izgradnja objekta je u Sremskim Karlovcima i sama lokacija gradilišta je specifična iz razloga što se nalazi iznad naseljenog mesta, a jedina trasa puta je baš kroz to mesto. Trasa puta koje je izabrana za prolazak do gradilišta je u lošem stanju. Jedan deo pristupnih puteva su jednosmerne ulice pa je potencijalni problem bio i mimoilaženje građevinske mehanizacije sa putničkim vozilima. Iz tog razloga je rađen i Projekat saobraćaja i saobraćajne signalizacije na trasi.

Površina parcele na kojoj se gradi objekat je u velikom nagibu. Na osnovu geomehaničkog elaborata došlo je se do zaključka da se predmetni objekat fundira na šipovima.

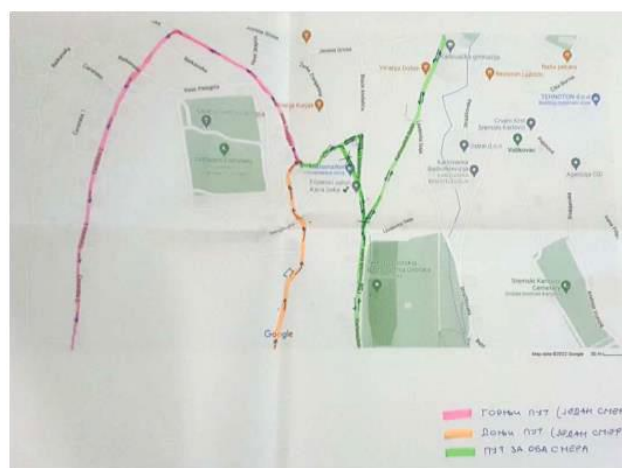
Planirano je fundiranje objekata na oko 500 komada šipova, dužine 8m i 10m.

Za snabdevanje građevinskim materijalom predviđena su motorna vozila prilagođena vrsti materijala. Ograničenja su postojala npr. za dužinu armature, koja nije smele biti duža od 9 metara. Takođe, prilikom isporuke betonske mase, nije postojala mogućnost da se iskoristi pun kapacitet automešalice već je se količina, po automešalici, redukovala cca 20%.

TABELA 1. RELACIJA PROBLEM REŠENJE

Problem	Rešenje
Pristup lokaciji gradilišta	Projekat saobraćaja i saobraćajne signalizacije
Uticaj transporta mašina i materijala na postojeće objekte na naznačenoj ruti	Elaborat o stanju objekata na označenoj ruti u Sremskim Karlovcima
Loši uslovi fundiranja	Temeljenje objekta na šipovima
Uticaj velikog nagiba terena na izgradnju	Zaštita temeljne jame izradom šipova i naglavne grede

Jedna od sledećih specifičnosti pripreme za ovaj projekat bila je i izrada Elaborata o stanju objekata na označenoj ruti u Sremskim Karlovcima. Pomenuti elaborat se odnosio na snimanje postojećeg stanja na ruti koju je dao naručilac elaborata. Elaborat je obuhvatio makroskopski pregled i snimak postojećeg stanja za objekte i ulice. Ovaj elaborat je izradio Fakultet tehničkih nauka odnosno Departman za građevinarstvo i geodeziju.



Slika 1. Zahtevana ruta

3.2 Organizacija gradjenja u specifičnim uslovima i mere za bezbedan i zdrav rad

Da bi se što kvalitetnije i racionalnije izveli radovi na izgradnji objekta, potrebno je organizaciju gradilišta uskladiti tako da se svi radovi odvijaju predviđenim

tempom i predviđenim redosledom. Zbog toga je neophodno izvršiti organizaciju gradilišta kroz faze koje karakterišu dominantni radovi i koje na pregledan način pružaju uvid u organizaciju i prostorni raspored kapaciteta za izgradnju obejakata prema usvojenoj tehnologiji.

Kao što se može videti razmatrani su grubi građevinski radovi, koje smo podali na faze i podfaze. Detaljno su opisane i skicirane trase za kretanje teške mehanizacije, pravci kretanja praznih i punih kamiona na samom gradilištu.

U nastavku će biti u kratkim crtama opisana svaka faza i podfaza, šta ona podrazumeva, koji radovi se izvode u istoj kao i šta se koristi od mehanizacije.

Faza 0 podrazumeva uređivanje i čišćenje terena koja podrazumeva skidanje humusa kao što je prikazano na Slici 2. Vrš se izrada i uređenje privremenih saobraćajnica kao i razvod električnih i vodovodnih instalacija. Od mehanizacije su angažovani buldozer, bager i kamioni kiperi.



Slika 2. Skidanje humusa

Faza 1a podrazumeva iskop i izradu radnog platoa koji će se koristiti za bušenje šipova kao što je prikazano na Slici 3. Obradeno je kretanje bagera i kamiona pri utovaru zemlje. Nakon otvaranja dela iskopa pristupa se nasipanju i planiranju tucanika sa upotrebom vibro valjka.

Faza 1b je bušenje šipova sa upotrebom odgovarajuće mašine, tzv.makare koja je prikazana na Slici 4. Bušeni šipovi kao i naglavna greda koja se izvodi preko njih podrazumeva obezbeđenje temeljne jame. Takođe, usled velikog inteziteta različitih mašina razmatran je njihov protok na gradilištu.

Faza 1c je iskop zemlje za temeljnu konstrukciju i izradu radnog platoa za bušenje šipova na kojima se konstrukcija fundira. Nakon iskopa zemlje rade se betonske zid zavesa između izbušenih šipova kao zaštita od osipanja zemlje i obezbeđenja sigurnih uslova za rad. Nakon izrade AB zavesa dolazi do nasipanja tucanika i nabijanja i pripreme

podloge za bušenje šipova. Od mehanizacije kotisti se bageri, kamioni, damper, automešalice, valjak i kombinovana mašina.



Slika 3. Izrada radnog platoa



Slika 4. Bušenje šipova

Na pripremljenom radnom platou ponovo koristimo mašinu makaru i izrađujemo šipove na kojima će se objekat fundirati. Šipovi koji se izvode su dužina 8m i 10m, a prečnika 510mm. Ovo je početak faze 2a. Nakon bušenja pomenutih šipova dolazi do izrade kapa šipova preko istih. Uporedo, nasipa se tucanik i izliva se mršavi beton na delu podloge gde se imenovane kape šipova ne izrađuju. Na deo mršavog betona i na deo ab kapa postavlja se hidroizolacija tipa Sika. Od mehanizacije se koristi makara, pumpa za beton, automešalice, kamioni kiperi, valjak i kombinovana mašina.

Faza 2b podrazumeva izradu temeljne konstrukcije što je prikazano na Slici 5, a to je armiranje, postavljanje oplata i betoniranje temeljne ploče debljine 40cm. Od mehanizacije za ovu vrstu radova se koristi pumpa za beton, automešalice kao i kran.



Slika 5. Izrada temeljne konstrukcije

3.2.1 Mere za zdrav i bezbedan rad

Građevinarstvo je jedna od najrizičnijih delatnosti u pogledu mogućnosti povređivanja i ugrožavanja zdravlja radnika. Porast broja incidenata na gradilištima i njihova težina zahtevaju izradu plana i programa zaštite na radu.

Pravilnikom o zaštiti na radu u građevinarstvu propisuju se posebne mere i normativi zaštite na radu koji se promenjuju pri izvođenju radova iz oblasti građevinarstva. Izvođenje radova na gradilištu sme se otpočeti tek kad je gradilište uređeno prema odredbama ovog pravilnika.

Građevinski radovi obavljaju se tako da se njihovim izvođenjem ne zagađuje okolina, a u slučaju buke, vibracija, izvođenja radova pod noćnim osvetljenjem, raskopavanjem, pojava prašine i ostalih pratećih pojava koje mogu ugroziti okolne objekte i stanovništvo, preduzimaju se mere za njihovo otklanjanje ili dovođenje u dozvoljene granice.

Sav materijal, uređaji postrojenja i oprema potrebna za izgradnju investicionog objekta odnosno za izvođenje određenog rada na gradilištu moraju, kad se ne upotrebljavaju, biti složeni tako da je omogućen lak pregled i nesmetano njihovo ručno ili mehanizovano uzimanje bez opasnosti od rušenja i slično.

3. ZAKLJUČAK

Danas je sve veća potreba i zanimanje za izgradnju što zanimljivijih i neobičnijih objekata, na lokacijama koje su specifične po više kriterijuma. Lokacija predmetnog objekta je specifična zbog njene pozicije tj. samog pristupa kao i tla na kome se izgrađuje objekat. Svi ovi kriterijumi predstavljaju veći izazov kako za projektante tako i za izvođače. Samim tim i tehnologija s vremenom postaje sve modernija i preciznija ali najvažnija uloga

svakog projektanta ostaje ista a to je odigurati sigurnost same građevine i ljudi.

U našem slučaju, jako je važno bilo početno sagledavanje kako lokacije tako i samog objekta. Izrada elaborata o stanju objekata na naznačenoj ruti kao i izmena saobraćaja i saobraćajne signalizacije a sve u dogovoru i sa lokalnim vlastima i da se zakon ispoštuje je bila dobra uvertira za dalje napredovanje izgradnje objekta.

Transport mehanizacije i snabdevanje materijalom je bilo i moralo biti ukalkulisano u cenu izvođenja jer zbog same pozicije objekta kao i pristupnog puta do istog, zahtevalo je malo ekstremnije mere nego inače. Postojala su ograničenja i u količinama, dužinama i težinama.

4. LITERATURA

- [1] Trivunić M., Matijević Z., Tehnologija i organizacija građenja, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2009
- [2] Trivunić M., Montaža betonskih konstrukcija zgrada, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2000
- [3] Trbojević B., Prašćević Ž., Organizacija građevinskih radova, Građevinska knjiga, Beograd
- [4] Normativi i standardi u građevinarstvu, Građevinska knjiga, Beograd, 1999
- [5] Pravilnik o zaštiti na radu pri izvođenju građevinskih radova "SL. Glasnik RS" br. 53/97
- [6] Pravilnik o načinu regulisanja saobraćaja na putevima u zoni radova "SL. Glasnik RS" br. 134/2014
- [7] Zakon o zaštiti od požara "SL. Glasnik RS" br. 111/2009
- [8] Projekat predmetnog objekta, projektant Andraš Lukač
- [9] Arizanović D., Građevinski projekti – oorganizacija i realizacija, AGM knjiga, 2022
- [10] Trivunić M., Jakšić Ž., Manojlović D., Stanojević D., Elaborat o stanju objekta na označenoj ruti u Sremskim Karlovcima

Kratka biografija:

Stefan Madžarević rođen je u Zvorniku 1990. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Tehnologija i organizacija građenja odbranio je 2023. godine
kontakt: stefan.madzarevic90@gmail.com

**ИДЕЈНО РЕШЕЊЕ СПОЉНЕ ХИДРАНТСКЕ МРЕЖЕ КОМПЛЕКСА ПИВАРЕ
„CARLSBERG–СРБИЈА“ Д.О.О. У ЧЕЛАРЕВУ****CONCEPTUAL SOLUTION OF THE EXTERNAL HYDRANT NETWORK OF THE
"CARLSBERG-SRBIJA" D.O.O. BREWERY COMPLEX IN ČELAREVO**

Јован Никшић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО, ХИДРОТЕХНИКА

Кратак садржај: У раду је изложено решење хидрантске мреже Пиваре Карлсберг, које садржи хидрауличку анализу побољшања решења водоснабдевања и избор најповољније варијанте.

Кључне речи: Хидрантска мрежа, EPANET, пивара Челарево, противпожарна заштита

Abstract – This project presents a solution of water supply network of Brewery Carlsberg, which includes the hydraulic analysis of improvement in water supplying and selection of the best solution.

Keywords: Hydrant network, EPANET, Chelarevo brewery, fire protection

1. УВОД

Задатак овог мастер рада обухвата анализу потрошње воде, постојећих капацитета и детаљно посматрање поменутог подручја. Одговарајућа количина воде, уз одговарајуће притиске и брзине протока, мора бити обезбеђена у сваком тренутку на сваком месту коришћења. С обзиром да се насеља у Србији, у случају пожара, снабдевају преко хидраната водом из јавног водоводног система, мора се урачунати и противпожарни проток.

Процењује се да подземне воде обезбеђују око 70% потреба за водом за домаћинства и индустрију у Србији, па се тако насеља у равничарским пределима снабдевају најчешће водом из бушених бунара, док се у брдским пределима снабдевају подземном водом, или директно из водотока. Вода која је намењена за људску потрошњу мора да испуњава актуелне прописе, које је препоручила Светска здравствена организација, и који су прилагођени свакој држави, односно њеним економским и здравственим околностима.

2. ТЕХНИЧКИ ИЗВЕШТАЈ

Комплекс пиваре “CARLSBERG - СРБИЈА“ д.о.о. се налази у северозападном делу насеља Челарево, у Пролетерској улици. Основна делатност предузећа је производња пива.

Предметна хидрантска мрежа се на комплексу пиваре, у улици Пролетерска број 17, на катастарским парцелама број 209/1, 1/10, 2790/7 и 2790/8 К.О. Челарево у Челареву

Предмет овог рада је израда спољне хидрантске мреже на комплексу пиваре. Основна намена предметне хидрантске мреже је дистрибуција противпожарне воде и непосредно гашење пожара.

Овим је предвиђено решење подразумева изградњу укупно 3,305.0 м цевовода хидрантске мреже. Изградња предметног цевовода се планира употребом водоводних цеви ПЕХД ПЕ100 ДН/ОД 180 НП 10 бара укупне дужине 2,511.4 м и ПЕХД ПЕ100 ДН/ОД 110 НП 10 бара укупне дужине 793.6 м.

Прикључење предметне хидрантске мреже се предвиђа на раније изграђени потисни цевовод (Ø250 мм) пумпне станице противпожарне воде који се налази у комплексу пиваре. Мастер радом је предвиђено да се прикључење изврши путем регулатора притиска којим се висина притиска на месту прикључка ограничава на 5.5 бара.

2.1. Противпожарна потрошња

Неопходно је обезбедити довољну количину воде у јавном водоводном систему за потребе гашења пожара, јер већина насеља у Србији не поседује посебну водоводну мрежу којом би могле да се снабдевају цистерне ватрогасних јединица.

Критеријуми који утичу на одређивање противпожарног протока у водоводном систему одређеног насеља су број становника тог насеља, типа насеља, као и врсте главне водоводне цеви. Из следеће табеле се, на основу броја становника, може усвојити потребан рачунски број истовремених пожара који трају 2 часа, и потребан противпожарни проток, изражен у l/s по једном пожару.

Из табеле се може закључити да се са порастом броја становника неког насеља очекује и пораст броја истовремених пожара, па се тако за мала насеља са мање од 10 хиљада становника у прорачун узима само један пожар, док се за велике градове који имају преко милион становника може очекивати 4 истовремена пожара (Табела 1.).

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Горан Јефтенић.

Табела 1. Противпожарни проток за град и градска насеља

Број становника	Прорачунат број истовремених пожара	Најмањи проток воде у l/s по једном пожару, без обзира на отпорност објекта према пожару
до 5 000	1	10
5 001 до 10 000	1	15
10 001 до 25 000	2	20
25 001 до 50 000	2	25
50 001 до 100 000	2	35
100001 до 200000	3	40
200001 до 300000	3	45
300001 до 400000	3	50
400001 до 500000	3	55
500001 до 600000	3	60
600001 до 700000	3	65
700001 до 800 000	3	70
800001 до 1000000	3	80
1000001 до 2000000	4	90

3. ТЕОРЕТСКЕ ОСНОВЕ ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА ЕПАНЕТ

ЕпаНЕТ је рачунарски програм који извршава симулацију са проширеним период хидраулични модел и модел квалитета воде у мрежама под притиском. Користимо мрежу састављену од цеви, чворова (укрштања цеви), пумпи.

ЕпаНЕТ током периода симулације, састављен од више временских корака, прати проток воде у свакој цеви, притисак на сваком чвору, ниво воде у сваком танку и концентрација хемијских супстанци кроз мрежу.

Поред тога, може да се симулира праћење хемијских супстанци, старости воде и њеног извора.

Математички модел струјања воде у мрежи врши прорачуне применом основних закона механике флуида [2]. Две основне независне једначине су:

-Једначина континуитета (једначина одржања масе) и

-Динамичка једначина (енергетска једначина).

3.1 Основне једначине

Једначина континуитета (једначина одржања масе)

Флуид је константне густине, из тога следи да једнакост маса значи и једнакост запремина, а устаљеност течења не допушта промену запремине између два попречна пресека, која у овом случају представљају два чвора. На основу тога се може закључити да протицаји кроз два попречна пресека, односно два чвора, морају бити једнаки [2].

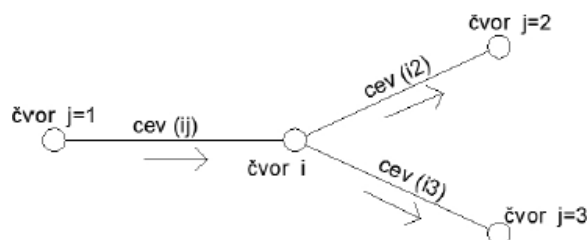
За било који чвор дистрибутивне мреже (i) важи следећа једнакост (израз 1):

$$\sum_j Q_{ij} + Q_{ip} = 0 \quad (1)$$

Q_{ij} - протицаји кроз цев и које спајају чвор (i) и чворове (j);

Q_{ip} - чворна потрошња додељена чвору (i).

На слици која следи (Слика 1.) приказана је шема чворова и деоница.



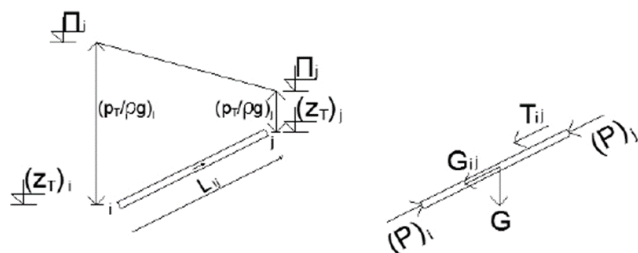
Слика 1. Шема чвора и деоница

На основу горе приказане Сlike 1, може се закључити да ће у једначини континуитета негативну вредност имати протицај кроз цев (i1), а позитивну вредност имаће чворне потрошње и протицаји кроз цеви (i2) и (i3).

Једначина континуитета примењена на цев говори да је дуж цеви протицај константан, што уједно и подразумевано претпоставком о нестишљивости флуида.

Динамичка једначина (једначина одржања количине кретања)

Једначина се пише за цев (ij), дужине L_{ij} , попречног пресека A_{ij} са чворовима (i) и (j) на узводном и низводном крају (Слика 2.) (израз 2).



Слика 2. Промена n коте дуж цеви (лево) и приказ сила које делују дуж деонице (десно)

$$P_i - P_j = r_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}| \quad (2)$$

3.2 Хидраулички прорачун прстенасте мреже

Две основне методе које се користе за решавање претходно система једначина су ΔQ метода и ΔP метода.

•Харди Кросова метода прстенова (ΔQ метода)

Овај поступак решавања једначина течења у цевним мрежама настао је давно пре увођења рачунара.

Харди Кророва метода прстенова се заснива на енергетским једначинама по прстеновима, при чему се користи услов да је алгебарски збир свих губитака енергије по затвореној контури, која је сачињена од цеви, једнак нули.

Занемарење брзинских висина и локалних губитака код промене пречника цеви доводи до тога да пијезометарске коте на крајевима свих цеви које се сустичу у једном чвору имају исту вредност (израз 3.).

$$\Delta Q_i^{(1)} = - \frac{\sum r_{ij(l)} Q_{ij(l)}^{(0)} |Q_{ij(l)}^{(0)}|}{2 \sum r_{ij(l)} |Q_{ij(l)}^{(0)}|} \quad (3)$$

• Харди Кророва метода чворова – ΔP метода

ΔP метода није често коришћена пре појаве рачунара, јер је број једначина које се јављају био изузетно велики. Ова метода је заснована на томе да се у једначине континуитета уведу корекције пијезометарске коте да би услов континуитета био задовољен за сваки чвор (израз 4.).

$$P_i^{(k+1)} = P_i^{(k)} + \Delta P_i^{(k+1)} \quad (4)$$

4. ХИДРАУЛИЧКИ ПРОРАЧУН

Пројектована хидрантска мрежа се прикључије на потисни цевовод постојеће дизел пумпе смештене у пумпну станицу спринклер инсталације. Пројектовано решење подразумева да се прикључење изврши путем регулатора притиска којим се висина притиска на месту прикључка ограничава на 5.5 бара.

Хидрауличка анализа пројектоване хидрантске мреже је урађена применом програмског пакета EPANET 2.0, који је намењен рачунарској симулацији течења у затвореним (цевоводним) системима под притиском, у условима стационарног односно благо променљивог течења.

Прорачун отпора се врши по Darcy-Weisbach-овој формули (израз 5.):

$$h_L = f \cdot \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5)$$

5. ЗАКЉУЧАК

Спољња хидрантска мрежа за гашење пожара је од немерљивог значаја за заштиту од пожара свих врста објеката, разних постројења за производне делатности, различитих складишта, објеката и просторија где постоји ризик од избијања пожара.

Задатак мастер рада је да обезбеди круг пиваре од пожара, при чему морају бити задовољени потребни притисци и брзине у хидрантској мрежи, као и потребна количина воде. Хидраулички прорачун је извршен помоћу програмског пакета Епанет, чији

резултати су задовољили поменуте захтеве. Вода се захвата из 4 бунара, а квалитет воде задовољава прописане захтеве. Резервоар и црпна станица обезбеђују потребне количине воде и притиске, док се у резервоару одвија и хлорисање воде из водозахвата. Усвојене су цеви од полиетилена и доминантни пречници цеви у пројектованом цевоводу су $\varnothing 100$ и $\varnothing 250$, док је минимални пречник цеви $\varnothing 110$. Овим је испуњен услов Правилника о хидрантској мрежи [3], да минимални пречник у водоводној мрежи не би требало да буде мањи од $\varnothing 100$.

Максимална брзина воде која се јавља у водоводној мрежи је 0,92 m/s. Иако није по препорукама, брзина воде у цевима је мања од 0,4 m/s у појединим деоницама због ограничења за минимални пречник цеви, па се због тога се надлежним службама препоручује чешће испирање цевовода. Максимални притисак који се јавља у мрежи је 5,5 bar-a, док минимални притисак износи 2,53 bar-a. Дозвољени притисци у мрежи се крећу у распону од 2,5 до 6,5 bar-a, из чега се може закључити да се притисци у пројектованој мрежи крећу у дозвољеним границама.

Усвојен је резервоар димензија 1000 m³. Уз помоћ резервоара се врше изравнавања неравномерне дневне потрошње. Одабране су две паралелно везане пумпе и једна резервна, помоћу којих се постижу потребни притисци у мрежи.

За избор пумпи је коришћен софтвер Wilo-Select. На основу претходно наведеног закључујемо да су испуњени основни услови за димензионисање водоводне мреже. У раду су димензионисани основни објекти заштите од пожара.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Будински Љ., Писана предавања за програмски пакет Епанет из предмета, Факултет техничких наука у Новом Саду. Нови Сад 2015.
- [2] Стипић М., Комунална хидротехника за студенте IV године одсека за хидротехнику, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2016
- [3] Хајдин Г., Механика флуида, Грађевински факултет, Универзитет у Београду, 1980.
- [4] <https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-tehnickim-normativima-instalacije-hidrantske-mreze-gasenje-pozara.html>

Кратка биографија



Јован Никшић рођен је у Вуковару 1990. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Хидротехника завршио је 2023. године.

Email: jovan.niksic@hotmail.com

U realizaciji Zbornika radova Fakulteta tehničkih nauka u toku 2023. godine učestvovali su sledeći recenzenti:

Aco Antić	Dunja Vrbaški	Marinko Maslarić	Nemanja Tasić
Aleksandar	Đorđe Vukelić	Marko Marković	Nenad Simeunović
Anđelković	Goran Jeftenić	Marko Todorov	Nikola Vojnović
Aleksandar Kovačević	Goran Savić	Marko Vekić	Platon Sovilj
Aleksandar	Goran Sladić	Maša Bukurov	Predrag Teodorović
Kupusinac	Goran Stojanović	Mijodrag Milošević	Radivoje Dinulović
Aleksandar Selakov	Goran Tepić	Milan Delić	Radomir Kojić
Aleksandra Radulović	Gordan Stojić	Milan Gavrić	Romana Bošković-
Aleksandra Pešterac	Gordana Ostojić	Milan Marinković	Živanović
Ana Nešić Tomašević	Gordana	Milan Mirković	Sandra Dedijer
Andraš Anderla	Milosavljević	Milan Rapajić	Saša Medić
Andrija Rašeta	Igor Dejanović	Milan Rackov	Slavica Mitrović
Atila Zelić	Igor Maraš	Milan Segedinac	Senka Bajić
Bojan Batinić	Igor Peško	Milan Trivunić	Slađana Milićević
Bojan Matić	Ilija Bašićević	Milan Vidaković	Slobodan Morača
Bojan Tepavčević	Iva Šiđanin	Milena Krklješ	Slobodan Šupić
Bojan Jovanović	Ivan Mezei	Milica Vračarić	Slobodan Tabaković
Boris Agarski	Ivan Prokić	Milica Miličić	Srđan Popov
Boris Stojić	Ivana Mihajlović	Milica Kisić	Srđan Vukmirović
Branko Milosavljević	Ivana Vasiljević	Miloš Simić	Stevan Gostojić
Damir Đaković	Ivana Katić	Miloš Šešlija	Stevan Milisavljević
Danijela Ćirić	Ivana Maraš	Milovan Lazarević	Stevan Stankovski
Danijela Gračanin	Ivana Miškeljin	Milja Simeunović	Suzana Draganić
Danijela Lalić	Jelena Atanacković	Miljana Prica	Svetlana Bačkalić
Darko Čapko	Jeličić	Miodrag Milutinov	Svetlana Nikoličić
Darko Stefanović	Jelena Borocki	Miodrag Žigić	Tamara Škorić
Dejan Ecet	Jelena Ivetić	Miroslav Dramićanin	Teodora Vučković
Dejan Reljić	Jelena Radonić	Miroslav Zarić	Vesna Stojaković
Dejan Movrin	Jelena Slivka	Mirko Raković	Višnja Žugić
Dejan Ubavin	Jelena Spajić	Miro Govedarica	Vladimir Đaković
Dejana Nedučin	Kalman Babković	Miroslav Kljajić	Vladimir Mučenski
Dragan Adamović	Lazar Kovačević	Miroslav Zarić	Vojin Ilić
Dragan Dinu	Lidija Krstanović	Mladen Tomić	Vuk Bogdanović
Dragan Ivanović	Ljiljana Popović	Mladen Radišić	Vuk Vranjkovic
Dragan Ivetić	Ljubica Duđak	Nataša Milosavljević	Zoran Brujić
Dragan Jovanović	Ljubo Nedović	Nebojša Brkljač	Zoran Čepić
Dragan Pejić	Ljubomir Budinski	Nebojša Radović	Zoran Jeličić
Dragan Ružić	Magdolna Pal	Nebojša Ralević	Željen Trpovski
Dragana	Maja Turk Sekulić	Neda Milić Keresteš	Željko Kanović
Konstantinović	Maja Petrović	Nemanja Kašiković	
Dragoljub Šević	Marija Silađi	Nemanja Sremčev	
Drago Žarković			

