



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке - зборници

Година: XXXVI

Број: 1/2021

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“

Година: XXXVI

Свеска: 1

Издавач: Факултет техничких наука Нови Сад

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

Уредништво:

Проф. др Раде Дорословачки

Проф. др Александар Купусинац

Проф. др Срђан Колаковић

Проф. др Борис Думнић

Проф. др Дарко Стефановић

Проф. др Себастиан Балаш

Проф. др Драган Ружић

Проф. др Мирослав Кљајић

Проф. др Дубравко Ђулибрк

Проф. др Дејан Убавин

Проф. др Миодраг Ђукић

Проф. др Мирјана Дамњановић

Проф. др Јелена Атанацковић Јеличић

Проф. др Властимир Радоњанин

Проф. др Драган Јовановић

Проф. др Мила Стојаковић

Проф. др Ливија Цветићанин

Проф. др Драгољуб Новаковић

Проф. др Теодор Атанацковић

Редакција:

Проф. др Александар Купусинац, главни
уредник

Проф. др Жељен Трповски, технички
уредник

Проф. др Дарко Стефановић

Проф. др Драгољуб Новаковић

Доц. др Иван Пинђер

Бисерка Милетић

Језичка редакција:

Бисерка Милетић, лектор

Софија Рацков, коректор

Мр Марина Катић, преводилац

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

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

CIP-Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

378.9(497.113)(082)

62

ЗБОРНИК радова Факултета техничких наука / главни и одговорни уредник

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

Месечно

ISSN 0350-428X

COBISS.SR-ID 58627591

ПРЕДГОВОР

Поштовани читаоци,

Пред вама је прва 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 07.09.2020. до 16.10.2020. год., а који се промовишу 27.01.2021. год. То су оригинални прилози студената са главним резултатима њихових мастер радова.

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

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

У овој свесци, са редним бројем 1. објављени су радови из области:

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

У свесци са редним бројем 2. објављени су радови из области:

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

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

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

„Високо место у друштву најбољих“

Уредништво

SADRŽAJ

STRANA

Radovi iz oblasti: Mašinstvo

1. Далибор Фехер, Јован Дорић, АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА КЛИПА МОТОРА СУС ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА	1-4
2. Marina Matić, Sanja Bojić, OPTIMIZACIJA PROCESA KOMISIONIRANJA PRIMENOM SIMULACIJA	5-7
3. Zoran Bobić, Bojan Petrović*, Sanja Kojić, Pal Terek, KARAKTERIZACIJA TOPOGRAFIJE Ni-Ti ORTODONTSKE ŽICE NAKON IZLAGANJA RAZLIČITIM KOROZIONIM MEDIJUMIMA	8-11
4. Damir Homa, Dragan Ružić, ISTRAŽIVANJE TOPLOTNIH USLOVA U KABINAMA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA	12-15
5. Nikola Drobac, NUMERIČKE SIMULACIJE STRUJANJA NANOJONSKE TEČNOSTI KROZ PRAVU CEV KRUŽNOG POPREČNOG PRESEKA	16-19
6. Mladen Đurić, GLAVNA MERNI REGULATORNA STANICA "RUMENKA" I SIMULACIJA STRUJANJA GASA KROZ SIGURNOSNI VENTIL	20-23
7. Nenad Tomić, Sanja Bojić, MODELOVANJE PROIZVODNOG SISTEMA PRIMJENOM SIMULACIJA	24-26
8. Stanko Goločorbin, STATIČKA MKE ANALIZA I ANALIZA OSCILOVANJA STUBA VETROGENERATORA	27-30
9. Владислав Живановић, МОДЕЛОВАЊЕ И НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ПИРОЛИЗЕ ДРВНЕ БИОМАСЕ – МОДЕЛ МИКРОЧЕСТИЦЕ	31-34

Radovi iz oblasti: Elektrotehnika i računarstvo

1. Katarina-Glorija Grujić, AUTOMATSKA DETEKCIJA INDIKATORA LOŠE DIZAJNIRANOG KODA BAZIRANA NA INFORMACIJAMA EKSTRAHOVANIM IZ TEKSTUALNOG SADRŽAJA	35-38
2. Miloš Pavlić, UČENJE USLOVLJAVANJEM UZ POŠTOVANJE SIGURNOSNIH MEHANIZAMA – STUDIJA SLUČAJA RADA UZ SIGURNOSNI PREKID	39-42

	STRANA
3. Simona Prokić, AUTOMATSKA DETEKCIJA INDIKATORA LOŠE DIZAJNIRANOG KODA BAZIRANA NA ISTORIJI PROMENA KODA	43-46
4. Ognjen Francuski, UČENJE USLOVLJAVANJEM UZ POŠTOVANJE SIGURNOSNIH MEHANIZAMA – STUDIJA SLUČAJA RADA UZ SAMO-MODIFIKACIJU	47-50
5. Marijana Matkovski, PRIMENA PRINCIPA BEZBEDNOG RAZVOJA ANDROID APLIKACIJA	51-54
6. Smilja Stokanović, ESTIMACIJA PARAMETARA MODELA PANDEMIJE COVID-19 OPISANOG OBIČNIM I FRAKCIJONIM DIFERENCIJALNIM JEDNAČINAMA	55-58
7. Jelena Bulatović, FREKVENCIJSKO KODOVANJE VIBROTAKTILNE POVRATNE SPREGE	59-62
8. Jovan Grgur, INTERAKTIVNA HOLOGRAFIJA U MEDICINSKOM INŽENJERINGU	63-66
9. Dušan Bortnik, SIGURNA KLIJENT-SERVER KOMUNIKACIJA KORIŠĆENJEM KRIPTOČIPA I NB-IOT KOMUNIKACIONOG MODULA	67-70
10. Vladimir Nikić, REALIZACIJA BOOTLOADER-A ZA BEŽIČNO AŽURIRANJE APLIKACIJA PUTEM NB-IOT KOMUNIKACIJE	71-74
11. Sergej Vukelić, FABRIKACIJA I ANALIZA ELEKTRIČNIH KARAKTERISTIKA E-TEKSTILNIH UREĐAJA NA BAZI CO-PANI MATERIJALA	75-78
12. Aleksandar Jeremić, REALIZACIJA UPITA ISKAZANIH PUTEM OBDA SISTEMA SA RELACIONIM IZVORIMA PODATAKA	79-82
13. Aleksandra Zec, OBJEKTIVNA PROCENA SUBJEKTIVNOG KVALITETA RADIOGRAFSKIH SNIMAKA	83-86
14. Jelena Maravić, DIGITALNA FORENZIKA iOS UREĐAJA	87-90
15. Svetislav Simić, PREDIKCIJA POPULARNOSTI OBJAVA NA SAJTU 9GAG NA OSNOVU SLIKE	91-94
16. Vladimir Jankov, Dragana Bajović, Željko Trpovski, STOHAISTIČKI BLOK MODEL I KLASIFIKACIJA	95-98
17. Stefan Ruvčeski, SOFTVERSKI SISTEM ZA OBRADU PRAVNIH DOKUMENATA ZASNOVAN NA TEHNIKAMA SEMANTIČKOG VEBA I MAŠINSKOG UČENJA	99-102
18. Mia Vujović, POREĐENJE SISTEMA ZA SINTEZU EKSPRESIVNOG GOVORA SA MOGUĆNOŠĆU KONTROLE JAČINE EMOCIJE	103-106
19. Milan Petković, Predrag Vidović, DINAMIČKA REKONFIGURACIJA DISTRIBUTIVNE MREŽE PRIMENOM UČENJA POTKREPLJIVANJEM	107-110
20. Ivana Stojanović, Željko Trpovski, RAZVOJ APLIKACIJE ZA PROCENU PRISUSTVA COVID-19 IZ RENDGENSKIH SLIKA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA	111-114
21. Дара Јовановић, РЕВИЗИЈА БИБЛИОТЕЧКОГ ФОНДА УЗ ПОДРШКУ FLUTTER РАДНОГ ОКВИРА	115-118
22. Данило Лајишић, УТИЦАЈ КОНСТРУКЦИЈЕ РОТОРА НА ПЕРФОРМАНСЕ КАБЕЗНИХ АСИНХРОНИХ МОТОРА	119-122

	STRANA
23. Jana Toholj, Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, MODELOVANJE I ANALIZA UTICAJA PROPADA NAPONA PRIMJENOM TEST MREŽA SA DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA	123-126
24. Vanja Desančić, TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SRBIJI	127-130
25. Sanja Marinković, PROCES HARMONIZACIJE DNEVNIH PLANOVA RADA EES U OKVIRU EVROPSKE INTERKONEKCIJE	131-134
26. Јована Арсеновић, ПРЕДИКЦИЈА ОСПОСОБЉЕНОСТИ ЗА ХОД НАКОН АМПУТАЦИЈЕ ДОЊИХ ЕКСТРЕМИТЕТА УЗ ОСЛОНАЦ НА АЛГОРИТМЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ	135-138
27. Željko Popović, Marija Antić, UREĐAJ ZA DETEKCIJU I OBRADU PODATAKA LJUDSKOG HODANJA	139-142

Radovi iz oblasti: Građevinarstvo

1. Milica Pločić, REHABILITACIJA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE POSTUPKOM HLADNOG RECIKLIRANJA NA LICU MESTA, PRIMER DEONICE V.STEPA-S.ITEBEJ I~2.05km	143-146
2. Tijana Majkić, ANALIZA STABILNOSTI KLIZIŠTA	147-150
3. Ilija Trzin, IMPLEMENTACIJA BIM-A U ODRŽAVANJU GRAĐEVINSKIH OBJEKATA	151-154
4. Милан Мајкић, Милош Шешлија, ПРОЈЕКТОВАЊЕ КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ СА ПРИМЕРОМ УПОТРЕБЕ ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА SECS 2.0	155-158
5. Gordana Bjelica, Matija Stipić, HIDRAULIČKA ANALIZA KANALISANJA ATMOSFERSKIH VODA U NASELJU BARANDA	159-162

Radovi iz oblasti: Saobraćaj

1. Čongor Erdedi, ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I PREDLOG UNAPREĐENJA SISTEMA JAVNOG PREVOZA NA PODRUČJU SUBOTICE	163-166
2. Снежана Драговић, УПРАВЉАЊЕ СИСТЕМОМ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА	167-170
3. Đorđe Kapur, REŠAVANJE PROBLEMA DOSTAVE POMOĆU QGIS-a	171-174

Radovi iz oblasti: Mehatronika

1. Nikola Ristić, RAZVOJ ELEKTROPNEUMATSKOG GENERATORA KOMPRESIONIH MEHANIČKIH TALASA	175-178
2. Lazar Milić, PRIMENA DUBOKOG UČENJA SA PODSTICAJEM ZA PLANIRANJE KRETANJA ROBOTSKOG MANIPULATORA	179-182

	STRANA
3. Tanja Berisavljević, REALIZACIJE PROTOTIPOVA DVOPRSTIH HVATALJKI AKTUIRANIH ELEKTRIČNIM MOTOROM ZA PRIMENU NA INDUSTRIJSKOM ROBOTU	183-186
4. Arpad Pletikosić, NADZOR I UPRAVLJANJE MAŠINOM UPOTREBOM VIRTUELNE REALNOSTI	187-190

АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА КЛИПА МОТОРА СУС ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ
КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТАFINITE ELEMENT ANALYSIS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE PISTON USING
MECHANICAL APPROACH

Далибор Фехер, Јован Дорић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Клипни механизам је витални сегмент сваког клипног мотора СУС и као такав он представља најодговорнију а уједно и најоптерећенију склоп мотора. Због тога је сврсисходно одредити оптерећења и деформације одговарајућих компоненти истог. Конкретно у оквиру рада, врши се моделовање, анализа оптерећења и оптимизација клипа дизел мотора применом методе коначних елемената.

Кључне речи: Дизел мотор, Клип, Метод коначних елемената, Оптимизација

Abstract – Slider-crank mechanism is vital segment of every reciprocating IC engine. It is also most loaded and most important assembly. Because of that, it is useful to determine load and deformation of its components. In this paper can be found load analysis and optimisation of a diesel engine piston with use of finite element method.

Keywords: Diesel engine, Piston, Finite Element Method, Optimisation

1. УВОД

Клипни механизам представља средство конверзије изворног осцилаторно-транслаторног кретања у жељено ротационо кретање које се остварује на излазу из мотора. Наизменично транслаторно кретање врши клип. Кретање настаје посредством експанзије гасова унутар цилиндра изнад клипа, делујући на чело клипа и потискивајући га, вршећи механички рад. Поменута експанзија гасова је последица сагоревања горива унутар цилиндра. Услед њиховог сагоревања ослобађа се велика количина енергије која доводи до драстичног пораста притиска у радном простору, нарочито када је реч о дизел моторима.

Компонента најизложенија дејству притиска је клип те је из тог разлога сам клип погодан за анализу. Како би се спровела анализа оптерећења клипа неопходно је познавати конструктивне параметре, кинематику и динамику клипног механизма.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Јован Дорић, ванр. проф.

2. ТОПЛОТНИ ПРОРАЧУН МОТОРА

Топлотни прорачун, мотора чији су основни параметри дати табелом 1, врши се са циљем стицања података о стању материје унутар радне запремине цилиндра (индикаторски p - V дијаграм), и дефинисања кинематских параметара клипног механизма (табела 2.).

Табела 1. Параметри мотора

Параметар	
Тип мотора	Четворотактни усисни дизел мотор
Намена мотора	Погон путничког возила
Номинална снага (N_e)	61 kW
Номинални број обртаја (n_e)	4400 o/min
Степен сабијања (ϵ)	22

Табела 2. Кинематски параметри клипног механизма

Параметар	Вредност
Кинематски фактор (λ_k)	0,3
Ход клипа (S)	72 mm
Номинални бр. Обртаја (n_e)	4400 min ⁻¹
Полупречник колена	36 mm
коленастог вратила (R)	
Дужина клипњаче (L)	120 mm
Угаона брзина (ω)	460,53 s ⁻¹

3. КИНЕМАТИКА КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА

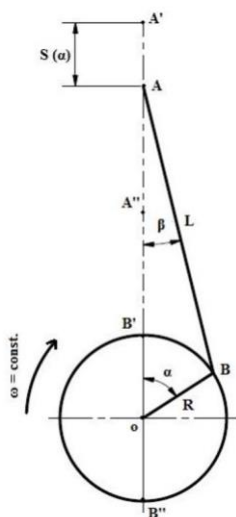
Циљ прорачуна кинематских параметара је дефинисање одговарајућих података неопходних за спровођење динамичке анализе механизма, као и симулације оптерећења клипа.

3.1. Положај клипа

До израза за положај клипа (1) у функцији угла коленастог вратила долази се уз помоћ геометријских зависности клипног механизма представљених сликом 1 [1].

$$S_{(\alpha)} = R(1 - \cos \alpha) + \frac{R\lambda_k}{4}(1 - \cos 2\alpha) \quad (1)$$

Прорачун се изводи за сваких 5°КВ како би крајњи резултати динамичке анализе клипног механизма били што прецизнији.



Слика 1. Геометрија клипног механизма [1]

3.2. Брзина клипа

До израза за брзину клипа (2), у зависности од положаја вратила, долази се диференцирањем израза за пређени пут клипа (1) [1].

$$v_{(\alpha)} = R\omega \sin \alpha + R\omega \frac{\lambda_k}{2} \sin 2\alpha = v_{I(\alpha)} + v_{II(\alpha)} \quad (2)$$

3.3. Убрзање клипа

Вредности убрзања употребљавају се за прорачунавање инерцијалних сила праволнијски покретних маса. Израз неопходан за прорачунавање убрзања (3) може се извести двоструким диференцирањем израза за положај (2), по времену [1].

$$a_{(\alpha)} = R\omega^2 \cos \alpha + R\omega^2 \lambda_k \cos 2\alpha = a_{I(\alpha)} + a_{II(\alpha)} \quad (3)$$

4. ДИНАМИКА КЛИПНОГ МЕХАНИЗМА

Силе које делују на клипни механизам могу се поделити на: силу услед дејства притиска гасова, инерцијалну силу, силу трења, силу земљине теже и корисног отпора који механизам савладава.

Како је исувише сложено рачунски дефинисати коефицијенте трења унутар мотора током рада, сила трења се занемарује.

Сила теже која делује на елементе клипног механизма такође се занемарује код брзоходних мотора. Ово упрошћење је могуће јер је сила теже значајно мања у односу на инерцијалне и силе услед дејства притиска гасова.

4.1. Сила услед дејства притиска гасова

Апсолутни притисак који влада изнад чела клипа у цилиндру дефинисан је индикаторским p - V дијаграмом.

Са супротне стране клипа, односно у моторској кућици влада приближно атмосферски притисак, из тог разлога се сила услед дејства притиска гасова прорачунава применом следећег обрасца (4) [1]:

$$F_g[N] = (p_\alpha - p_o) \cdot A_k = p_g \cdot A_k \quad (4)$$

4.2. Инерцијалне силе покретних маса клипног механизма

Као последица променљивог кретања покретних делова механизма, јављају се инерцијалне силе. Маса покретних елемената механизма усвајају се на основу сличних, већ изведених конструкција. Приближни односи између масе појединих елемената и површине клипа, дефинисани су на основу статистичких података [1].

Како је расподела масе клипног механизма сложена због комплексности раванског кретања клипњаче, врши се редукција маса на осовиницу m_o , односно на рукавац коленастог вратила m_r .

Вредност сила инерције ротационих маса одређује се према обрасцу [1]:

$$F_{ir} = -m_r \cdot a_r = -m_r \cdot R \cdot \omega^2, \quad (5)$$

а силе инерције које потичу од кретања транслаторно осцилаторних маса, израчунавају се применом следећег израза [1]:

$$F_{io} = -m_o \cdot a. \quad (6)$$

4.3. Резултујућа сила на клипу

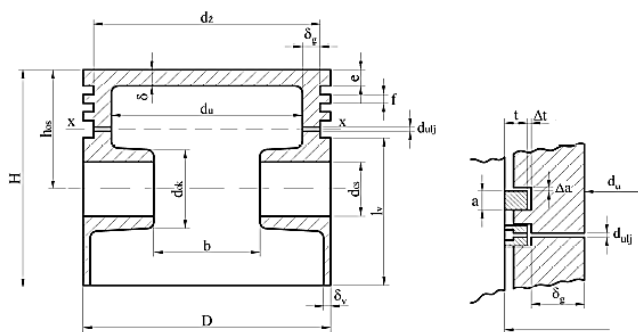
Знајући да се правац дејства инерцијалне силе поклапа са правцем дејства силе притиска гасова, резултанта ове две силе се може одредити алгебарским сабирањем [1]:

$$F_{r(\alpha)} = F_{g(\alpha)} + F_{io(\alpha)}$$

Резултујућу силу на осовиницу клипа F_r , могуће је разложити на силу у правцу клипњаче F_{knj} и силу нормалну на осу клипа F_n .

5. ИЗРАДА МОДЕЛА КЛИПА

Конструктивне димензије клипа (Слика 2.) усвајају се на основу већ постојећих концепција [2].



Слика 2. Конструктивне димензије клипа [3]

Израда иницијалног тродимензионалног модела клипа према усвојеним димензијама врши се применом софтвера Autodesk Inventor.

Како би резултати анализе били што релевантнији, израђују се модели комплетне клипне групе како би се запазило њихово дејство на клип. Оформљеним моделима (Слика 3.) компонената додељују се одговарајући материјали (Табела 3.).

Табела 3. Материјали компоненти клипне групе

Компонента	Материјал	Ознака (DIN)
Клип	Легура алуминијума	AlSi12Cu
Клипни прстенови	Сиви лив	GG 26
Осовиница	Челик за цементацију	16MnCr5



Слика 3. Модел клипне групе и њених компоненти

6. АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА КЛИПА

Симулација оптерећења модела клипа се врши анализом дејства силе притиска гасова, односно дејства осталих чланова клипне групе на клип. Моделовање оптерећења се врши за положај коленастог вратила при којем се остварује максималан притисак гасова прорачунат у оквиру топлотног прорачуна. Анализирају се напонско стање и деформације клипа а потом се врши оптимизација и анализа оптимизованог модела клипа.

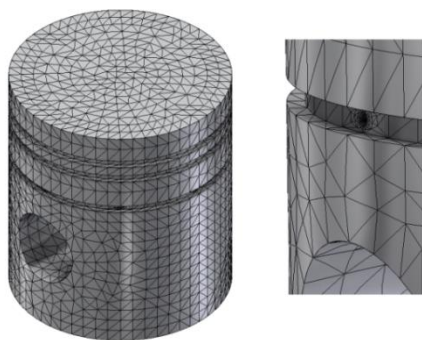
6.1. Мрежа коначних елемената

Модел је иницијално неопходно поделити на коначне елементе одговарајућих карактеристика које су представљене табелом 4.

Табела 4. Карактеристике коначних елемената

Параметар	Вредност
<i>Average Element Size</i>	0,05
<i>Minimum Element Size</i>	0,10
<i>Grading Factor</i>	1,5
<i>Minimum Turn Angle</i>	60°

Сликом 4. (лево) представљена је мрежа формирана на основу претходно дефинисаних параметара, односно оптимизација облика и димензија елемената коју врши софтвер у складу са геометријом модела (десно).

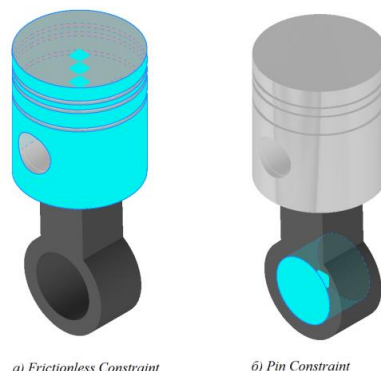


Слика 4. Мрежа коначних елемената

6.2. Апликација сила и ограничења

Симулација се врши за читав склоп клипне групе како би било запажено дејство осталих чланова на клип. Неопходно је моделовати клипњачу чија је улога да изазове реакцију у правцу њене осе. Како она има помоћну улогу, за постављање ограничења, није неопходно вршити њен прорачун.

Клипњача је моделирана као лако круто тело а њен отклон у односу на осу цилиндра је 1,49°. Примењена ограничења клипа су „Frictionless Constraint“ и „Pin Constraint“ (Слика 5.). На тај начин се симулира реакција цилиндра, односно реакција осовинице и клипњаче.



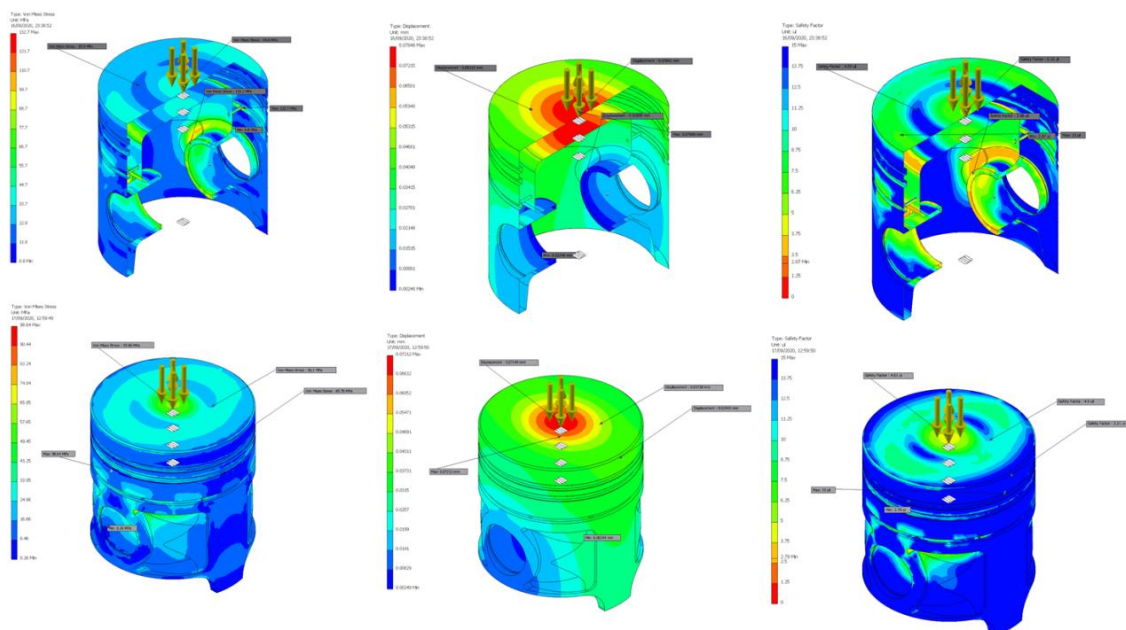
Слика 5. Примењена ограничења

Као узроци оптерећења аплицирају се притисак који делује на површину чела клипа и инерцијална сила. Инерцијална сила се дефинише уз помоћ функције „Gravity“, при чему се за вредност убрзања уноси убрзање клипа у тренутку максималног притиска гасова (9872 m/s^2). Убрзање клипа је супротно усмерено у односу на дејство силе услед притиска гасова. Максимални притисак изнад чела клипа ($12,569 \text{ MPa}$) остварује се при положају коленастог вратила од 365° .

6.3. Резултати и оптимизација

Запажа се да се зоне повишених напона код немодификованог клипа налазе на челу клипа, унутрашњој страни чела клипа, у пресеку жљеба уљног клипног прстена и окцу клипа (Слика 6.). Највећу деформацију клипа трпи чело. Степен сигурности је параметар који показује колики је однос напона који се јављају у одређеним критичним зонама клипа и напона еластичности материјала који је усвојен за клип. Степен сигурности који се најчешће усваја у аутомобилској индустрији за овај тип прорачуна креће се у интервалу од 2 до 3. Како је за материјал клипа усвојена легура алуминијума, као меродавни степен сигурности усваја се 2,5 [4]. Зона чији степен сигурности не задовољава усвојени критеријум је зона у пресеку жљеба уљног клипног прстена.

Са циљем остваривања повољнијег напонског стања, стања деформација и масе, врши се оптимизација. Оптимизација се врши итеративном методом скидањем, односно додавањем материјала у карактеристичним зонама.



Слика 6. Графички приказ резултата симулације иницијалног (горе) и оптимизованог (доле) клипа

Табела 5. Упоредне екстремне вредности параметара од значаја

Зона		Вон Мајсесов напон	Деформација	Степен сигурности
Чело клипа	Немодификован	44,6 МПа	0,078 mm	6,16
	Модификован	59,66 МПа	0,072 mm	4,61
Унутрашњост чела клипа	Немодификован	59,9 МПа	0,059 mm	4,59
	Модификован	56,1 МПа	0,037 mm	4,9
Окце	Немодификован	103,2 МПа	0,018 mm	2,66
	Модификован	80,24 МПа	0,02 mm	3,43
Пресек на месту жљеба клипног прстена	Немодификован	132,7 МПа	0,029 mm	2,03
	Модификован	98,64 МПа	0,023 mm	2,79

Спровођењем симулације након оптимизације добијају се значајно повољнији резултати. Вредности степена сигурности, а самим тим и екстремне вредности напона, су повољније за све карактеристичне зоне осим за чело клипа (Табела 5.). Како је степен сигурности чела клипа и пре оптимизације био далеко изнад усвојеног граничног степена сигурности, вишак материјала је елиминисан са циљем смањења укупне масе клипа. Захваљујући томе остварено је смањење масе клипа са 0,748 g на 0,703 g, односно клип је приближно 6% лакши.

7. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата који су добијени применом софтвера, закључило се да су најоптерећенији делови клипа: чело, окца и пресек клипа на месту жљеба за уљни клипни прстен. Итеративном методом извршена је оптимизација клипа са циљем побољшања његових својстава. Као резултат оптимизације умањене су екстремне вредности параметара од значаја: Вон Мајсесови напони (35%), деформације (8%) и маса клипа (6%), док је минимални степен сигурности повишен (27%). Битно је напоменути да се реалне вредности оптерећења могу стећи тек након израде и испитивања клипа у реалним условима.

Даљи правци испитивања могу бити оријентисани ка анализи преосталих елемената клипног механизма,

као и имплементацији термичког утицаја како би се стекла ширија слика о целокупним оптерећењима.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миодраг Ц. Живковић, "Мотори са унутрашњим сагоревањем II део", Београд, 1980.
- [2] Живота Д. Шешић, Трипо М. Тодоровић, "Конструкција мотора", Нови Сад, 1976.
- [3] Richard van Basshuysen, Fred Schäfer, "Internal combustion engine handbook: basics, components, systems, and perspectives", Wiesbaden, Germany, 2002.
- [4] Rahul D. Raut, Satish Mishra, "Stress Optimization of S.I. Engine Piston", Faribabad, India 2015.

Kratka biografija:



Далибор Фехер рођен је у Новом Саду 1997. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Моторних возила – Конверзија моторног возила у електрично одбранио је 2019. год.
контакт: daliborfeher@gmail.com



Јован Дорич рођен је у Новом Саду 1983. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2012. год., а од 2017. год. је у звању ванредног професора. Област интересовања су мотори СУС и моторна возила.
Контакт: jovan_d@uns.ac.rs

OPTIMIZACIJA PROCESA KOMISIONIRANJA PRIMENOM SIMULACIJA**OPTIMIZATION OF THE ORDER PICKING USING SIMULATION**Marina Matic, Sanja Bojić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je, primenom simulacija, analiziran proces komisioniranja po principu „pick by light“ tehnologije. Simulacije su izvršene u simulacionom softveru Tecnomatix. Na osnovu matematičkih proračuna formirana su dva simulaciona modela kako bi se uporedili efekti zonskog komisioniranja u odnosu na slobodno. Simulacioni rezultati ukazuju na značajnu prednost zonskog komisioniranja u definisanim uslovima.

Ključne reči: Simulacije, komisioniranje, tokovi materijala

Abstract – The paper provides analysis of the process of order picking following the principle of „goods to person“ using the „pick by light“ technology, using simulations. Simulations were performed in the Tecnomatix simulation software. Based on mathematical calculations, two simulation models were developed in order to compare the effects of single order picking and order picking in zones. Simulation results indicate a significant advantage of zone order picking in defined conditions.

Keywords: Simulation, order picking, material flow

1. UVOD

Od davnina logistika predstavlja veoma bitan aspekt ljudskog života. Ljudi su imali potrebu za obezbeđivanjem osnovnih namirnica za život i rad, pa su prema tome bili primorani da naseljavaju područja koja bi im omogućila dalju egzistenciju.

Paralelno sa razvojem tehničko – tehnološkog sistema razvijao se i logistički sistem, što je prouzrokovalo mogućnost geografskog razdvajanja proizvodnje i potrošnje. Upravo tada, regioni specijalizovani za određene proizvode, višak svoje proizvodnje počinju da razmenjuju sa drugim regionima, odakle se snabdevaju robom koja se kod njih ne proizvodi.

Tipičan primer za to jeste otvaranje fabrika specijalizovanih za određeni proizvod, koje sirovine potrebne za proizvodnju dopremaju od dobavljača i kasnije gotove proizvode dostavljaju potrošačima (korisnicima). Prema tome, da bi ceo ovaj sistem funkcionisao, veoma je bitno dobro upravljanje logističkim procesima [1].

Tek sredinom prošlog veka počeo je intenzivniji razvoj logistike koji se može podeliti u nekoliko faza:

- do 1960. godine – proizvodi se roba široke potrošnje, kapaciteti proizvodnje su maksimalno iskorišćeni;
- 1970. godine – povećavaju se kamatne stope, dolazi do unapređenja prodaje i marketinga, javlja se sve veće interesovanje za vreme isporuke, način isporuke i stepen raspoloživosti, dok se finansijskom trošku zaliha ne posvećuje posebna pažnja;
- posle 1980. godine – javlja se potreba za smanjenjem „statičkih“ zaliha kao i težnja preduzeća ka širenju na različita tržišta, a time i potreba za planiranjem i koordinacijom materijalnih i robnih tokova; razvija se integralna (integrisana) logistika;
- 1990. godine – pažnja se usmerava na mobilne zalihe, javlja se zahtev da se roba isporučuje tačno na vreme¹, shvata se značaj neprekidnosti procesa kojim se kontroliše tok robe i usluga do krajnjeg korisnika.

Sa razvojem logistike sve više na značaju dobija optimizacija zaliha, primarno kroz optimizaciju procesa skladištenja. S obzirom da preko 50 % vremena i troškova skladištenja materijala otpada na proces komisioniranja, poslednjih 20 godina optimizacija procesa komisioniranja predstavlja jedan od najizuzetnijih problema u logistici.

2. PRIMENA SIMULACIJA ZA PLANIRANJE I OPTIMIZACIJU PROCESA KOMISIONIRANJA

U dosadašnjim istraživanjima na temu tokova materijala u distribuciji i proizvodnji, ustanovljeno je da komisioniranje predstavlja aktivnost koja ima najviše mogućnosti za optimizaciju, kako zbog velikog stepena manuelnog rada, tako i zbog velikih troškova i gubitka vremena koji su u praksi svakodnevno prisutni. Premda će potpuna zamena manuelnog rada automatizovanim još potrajati, postoje mnoga istraživanja na temu poboljšanja performansi procesa komisioniranja primenom različitih metoda i tehnologija kojima se postiže smanjenje troškova, broja radnika, obima posla i slično.

2.1. Koncepti tehnologije komisioniranja

Osnovni koncepti komisioniranja mogu se razvrstati na:

- čovek ka robi (person to goods);
- roba ka čoveku (goods to person);
- automatizovano komisioniranje (automated order picking).

U radu je razmatran princip „čovek ka robi“, gde je konkretno primenjena tehnologija uočavanjem svetla – „pick by light“. Ova tehnologija podrazumeva da se ispred svakog komisionog mesta nalazi svetlo koje se uključuje kada se artikal nađe na listi za porudžbinu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Sanja Bojić, vanr. prof.

¹ Just in time

Pored svakog svetla se nalazi i displej na kojem je ispisan broj komada koje je potrebno uzeti. Komisioner dolazi do mesta sa kog treba uzeti proizvod, uzima onoliko artikala koliko piše na displeju, nakon čega pritiska dugme kojim potvrđuje da je uzeo proizvode.

Ovaj proces se ponavlja na svakom sledećem komisionom mestu.



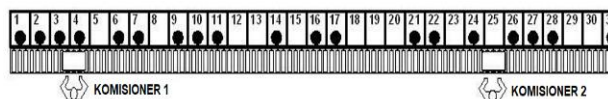
Slika 1. „Pick by light” tehnologija [4]

2.2. Razvoj modela

Model se sastoji od 50 komisionih pozicija koje su postavljene jedna do druge i valjkastog transportera sa pogonom koji se prostire duž komisionih mesta, po kojem se kreću kutije (slika 2). Komisioni sistem je opremljen tehnologijom prema svetlu (pick by light), koji je prethodno opisan.

Na valjkasti transporter pristižu prazne kutije (1 kutija = 1 narudžbina) pri čemu komisioner šeta uz transporter i zaustavlja se zajedno sa kutijom na pozicijama sa kojih je potrebno izuzeti proizvod.

Prilikom dolaska kutije na transporter sistem detektuje koje je proizvode potrebno sakupiti i svetla se pale na svim potrebnim pozicijama istovremeno [2].



Slika 2. Prikaz modela [2]

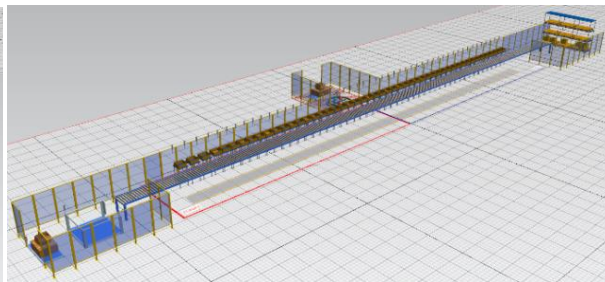
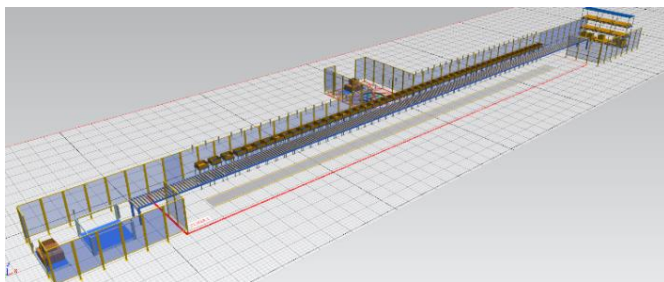
Prvi model se sastoji od jedne zone (slika 3, levo) po kojoj se slobodno kreću dva radnika po sledećem principu: prilikom dolaska nove kutije, radnik broj 1 dolazi do prvog mesta sa kog je potrebno uzeti proizvode i čeka da naide kutija, dok radnik broj 2 ide na prvo sledeće mesto. Po nailasku kutije radnik 1 izvršava izuzimanje proizvoda, potvrđuje da je uzeo potreban broj i ide do narednog slobodnog mesta. Kada je narudžbina kompletirana, radnici se vraćaju na početak i proces se ponavlja iznova.

Drugi model je podeljen na dve zone (Slika 3, desno), pri čemu svaku zonu opslužuje po jedan radnik. Princip izuzimanja proizvoda je identičan prethodnom, pri čemu su radnici izuzimili proizvode redom ali samo u okviru svoje zone.

2.3. Rezultati

Ispitivanje je rađeno za vremenski period od 8 časova pri čemu je broj proizvoda koji je izašao iz sistema 1665, dok je broj porudžbina iznosio 119, odakle se može izračunati da je prosečan broj proizvoda po kutiji približno 14 komada.

U tabeli 1 su prikazani uporedni statistički rezultati oba modela.



Slika 3. Prikaz jednozonskog modela (levo) i dvozonskog modela (desno)[3]

Tabela 1. Uporedni rezultati modela [3]

Zona 1		
	Radnik 1	Radnik 2
Rad [%]:	74.21	70.18
Čekanje [%]:	10.12	15.07
Šetanje do komisionog mesta [%]:	15.67	14.75
Pređeni put [m]:	4532	4319
Zona 2		
	Radnik 1	Radnik 2
Rad [%]:	65.66	65.96
Čekanje [%]:	26.25	28.66
Šetanje do komisionog mesta [%]:	8.10	5.38
Pređeni put [m]:	2348	1553

Rezultati pružaju mogućnost poređenja vremena koje su radnici u oba modela potrošili na proces komisioniranja, na hodanje do narednog komisionog mesta, vreme čekanja na narednu porudžbinu koju je potrebno iskomisionirati i put koji komisioneri pređu u toku radnog vremena.

Dobijeni rezultati nesumnjivo govore u korist zonskog nasuprot slobodnom komisioniranju i ukazuju na uštede od oko 10% u vremenu utrošenom na komisioniranje pa do preko 50% manje pređenog puta komisionera u toku jedne smene.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu korišćene su simulacije u cilju određivanja optimalnog načina komisioniranja za definisane uslove primenom tehnologije „pick by light“.

Simulacije su se ovom prilikom pokazale kao izuzetno koristan alat koji je omogućio verodostojnu uporednu analizu dva načina komisioniranja brzo, efikasno, bez potrebe da se sprovodi eksperiment ili analiza u realnom sistemu.

Rezultati simulacija, za definisane uslove, pokazuju da prilikom komisioniranja u zonama radnici prelaze duplo kraći put, a takođe i duplo manji procenat vremena provode u hodanju do sledećeg komisionog mesta u odnosu na slobodno komisioniranje. Procenat rada se redukovao za oko 10%, dok se čekanje povećalo. Iz ovoga se može zaključiti da se radnici manje umaraju prelazeći kraći put, putanje im se ne sudaraju i javlja se mogućnost obavljanja više posla upravo zbog povećanja čekanja.

Bitno je naglasiti da su dobijeni rezultati validni samo za uslove definisane u ovom radu i da bi u daljim istraživanjima trebalo posvetiti pažnju poređenju sa izmenjenim ulaznim parametrima, kao što su promenjeni intenzitet dolaska narudžbina, veći broj komisionera, itd.

4. LITERATURA

- [1] Nikoličić S., Stojanović Đ., Maslarić M., Osnovi logistike: principi, sistemi i procesi. „TEHNIČKE NAUKE – UDŽBENICI“, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka; 2016.
- [2] Dragan Đ. Živanić, Logistika i simulacije tokova materijala kao podloga za optimalan izbor transportno skladišnih sistema. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka; 2012
- [3] Tecnomatix Plant Simulation Software
- [4] www.ssi-schaefer.com

Kratka biografija:



Marina Matić rođena je u Senti 1996. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Skladišta i opreme - Ključni pokazatelji efikasnosti logističkih sistema sa posebnim osvrtom na skladištenje i komisioniranje odbranila je 2019. god.
kontakt: marina.matic@uns.ac.rs



Sanja Bojić rođena je u Karlovcu 1981. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2013. god., a od 2019 je u zvanju vanredni profesor. Oblasti istraživanja su logistika, skladišni sistemi i simulacije tokova materijala.

**KARAKTERIZACIJA TOPOGRAFIJE Ni-Ti ORTODONTSKE ŽICE NAKON
IZLAGANJA RAZLIČITIM KOROZIONIM MEDIJUMIMA****CHARACTERIZATION OF Ni-Ti ARCHWIRE TOPOGRAPHY AFTER EXPOSURE TO
DIFFERENT CORROSIVE MEDIA**

Zoran Bobić, Bojan Petrović*, Sanja Kojić, Pal Terek, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad,*
**Medicinski fakultet, Novi Sad*

Oblast –PROIZVODNO MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja topografije Ni-Ti (nitinol) ortodontske žice pre i posle korozije u različitim medijumima.

Ključne reči: ortodontska terapija, Ni-Ti žica, korozija, topografija, hrapavost površine

Abstract – This work presents the results of examination of Ni-Ti (nitinol) archwire topography before and after the exposure to corrosive media.

Keywords: orthodontic therapy, Ni-Ti archwire, corrosion, topography, surface roughness

1. UVOD

U cilju pravilnog postavljanja zuba u zubni niz i stvaranja zdravog prostora u usnoj duplji primenjuje se ortodontska terapija fiksnim aparatima [1]. Ova terapija podrazumeva fiksiranje bravica na svaki zub pojedinačno, a bravice se međusobno povezuju lukom (žicom) [1]. Ortodontski luk vrši dejstvo na bravice i na taj način vrši pomeranje zuba u povoljan položaj u vilici [1]. Lukovi se izrađuju od različitih materijala ali jedan od najzastupljenijih materijala danas je Ni-Ti legura poznatija kao nitinol.

Tokom ortodontske terapije materijali aparata su u kontaktu sa različitim okolinom koja može uticati na pojavu korozije [2]. Prilikom korozije dolazi do degradacije materijala što je paraćeno otpuštanjem jona i stupanjem jona u kontakt sa okolinom [2]. Osim degradacije materijala ovi procesi imaju izuzetno negativno dejstvo na ljudski organizam u kojem se oni odvijaju [3].

Veliki broj istraživanja imao za cilj karakterizaciju korozije nitinola u različitim medijumima [4, 5]. U ispitivanju iz rada [4] primećeno je da povećanje kiselosti okoline dovodi do povećanja korozije i povećanja hrapavosti žice.

U istraživanju [5], primećeno je da povećanje fluora izaziva povećano otpuštanje jona praćeno promenama na površini. U navedenim istraživanjima korozija je karakterisana promenom parametara hrapavosti, pri čemu je pokušano da se odrede međuzavisnosti između otpuštanja jona, promene topografije i promene parametara hrapavosti za određeni medijum.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Pal Terek, docent.

Međutim, u tim istraživanjima dolazi do značajnog nepodudaranja rezultata, pa čak i do suprotnih konstatacija vezano za dejstva određenog medijuma, npr. da li izaziva povećanje ili smanjenje određenog parametara hrapavosti. Stoga, ove međuzavisnosti treba podrobnije ispitati detaljnim praćenjem topografije površine i promene parametara hrapavosti na istim mikro-lokacijama.

Cilj ovog istraživanja je karakterizacija korozionog ponašanja nitinola u pljuvački i različitim sredstvima za ispiranje usta, sa posebnim fokusom na karakterizaciji promene topografije površine.

2. MATERIJALI I EKSPERIMENT

U ovom istraživanju izvršeno je ispitivanje Ni-Ti žice pravougaonog poprečnog preseka (Dentaurum GmbH & Co) koja je bila izložena različitim korozionim medijumima. Uzorci su isećeni na dimenzije od oko 5 mm i izvršeno je njihovo obeležavanje rednim brojevima (od 1 do 3) i izvršeno je obeležavanje lokacija pored kojih su vršena topografska merenja (L-levo, D-desno).

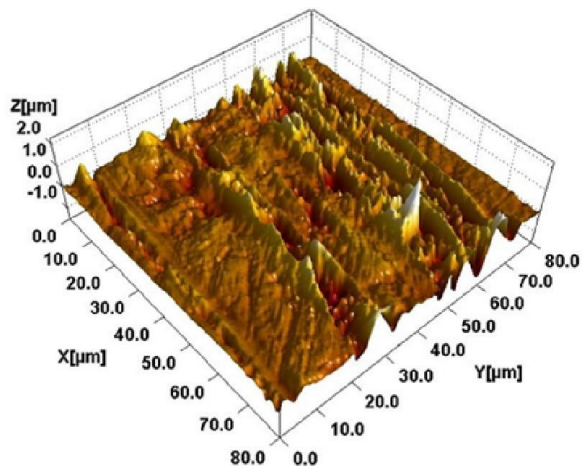
Korozioni testovi su izvršeni tako što su uzorci potopljeni u korozione medijume (tečnosti) u trajanju od 22,5 dana na sobnoj temperaturi. Korišćeni korozioni medijumi su: za Uzorak 1 - veštačka pljuvačka (Apotekarske ustanove Beograd); za Uzorak 2 - Aquafresh my big teeth mouthwash (GSK Consumer Healthcare) i za Uzorak 3 - EludrilClassic (Pierre Fabre medicament).

Na šest indentičnih mikro-lokacija su pre i posle korozionih testova primenom mikroskopije atomskih sila (AFM) izvršena merenja topografije uzorka. Za merenja je korišćen uređaj CP-II (Veeco) sa silicijum-nitridnom sondom (konzolom) u kontaktnom modu. Merene su površine dimenzija 100x100µm, brzinom skeniranja od 0,5 Hz i krutosti sonde od 225uN.

Kako bi se AFM-om, bez koordinatnog upravljanja, uspešno uporedile i analizirale indentične lokacije, pre i posle korozionih testova, koordinate mernih taćaka su precizno praćene i beležene u odnosu na referentni koordinatni sistem. Zajedničkim korišćenjem optičkog sistema AFM-a, kamere i MB-ruller softvera je sa više koordinatnih sistema izvršeno precizno i skoro jednoznaćno pozicioniranje sonde u merne položaje. Obrada i analiza topografskih snimaka i određivanje parametara hrapavosti je izvršeno primenom SPIP (Image metrology) programskog paketa.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Reprezentativna 3D topografska slika površine uzorka pre korozivnih testova je prikazana na Slici 1. Površine ispitivanih uzoraka se odlikuju mikrometerski dubokim risevima koji se protežu uzdužno po uzorcima. Između riseva površina je relativno ujednačene topografije i hrapavosti.



Slika 1. Reprezentativna topografija uzorka pre korozivnih testova, na površini od 80x80μm, uzorak 1-3D

Parametri hrapavosti uzorka pre i posle korozivnih testova u različitim medijumima određenih na 80x80 μm su prikazani u Tabeli 1. Prema većini parametara, hrapavost uzorka pre korozivnih testova je prilično ujednačena i slična na svim uzorcima. Parametar Ssk ukazuje na to da su površine negativno polarisane što zajedno sa S10z nedvosmisleno potvrđuje postojanje dubokih riseva na površinama. Iz tabele 1 se takođe može videti da je, prema analiziranim parametrima hrapavosti, došlo do neznatne promene hrapavosti nakon korozivnih testova, koja praktično spada u domene devijacija merenja. Ova konstatacija je nametnula to da se promene u topografiji pokušaju ispitati na manjim površinama bez riseva, pa su stoga dalje analize izvršene na površinama od 10x10 μm

Topografski snimci uzorka na površinama od 10x10 μm, pre i posle korozivnih testova, su prikazani na Slici 2. U slučaju uzorka 1 nakon korozije je došlo do blagog zaravnjanja (zaglađenja) vrhova. Upoređivanjem topografskih slika uzorka 2, pre i posle korozije, se pored zaglađenja određenih lokalnih vrhova, se uviđaju i produblјivanja dolina na površini. Kod uzorka 3 je pored zaravnjanja vrhova primetna i značajnija promena površine. Iz ovih analiza se može zaključiti da korozivni procesi dovode do promene topografije na nano nivou što se tačnije može pratiti na manjim, mikro-lokacijama.

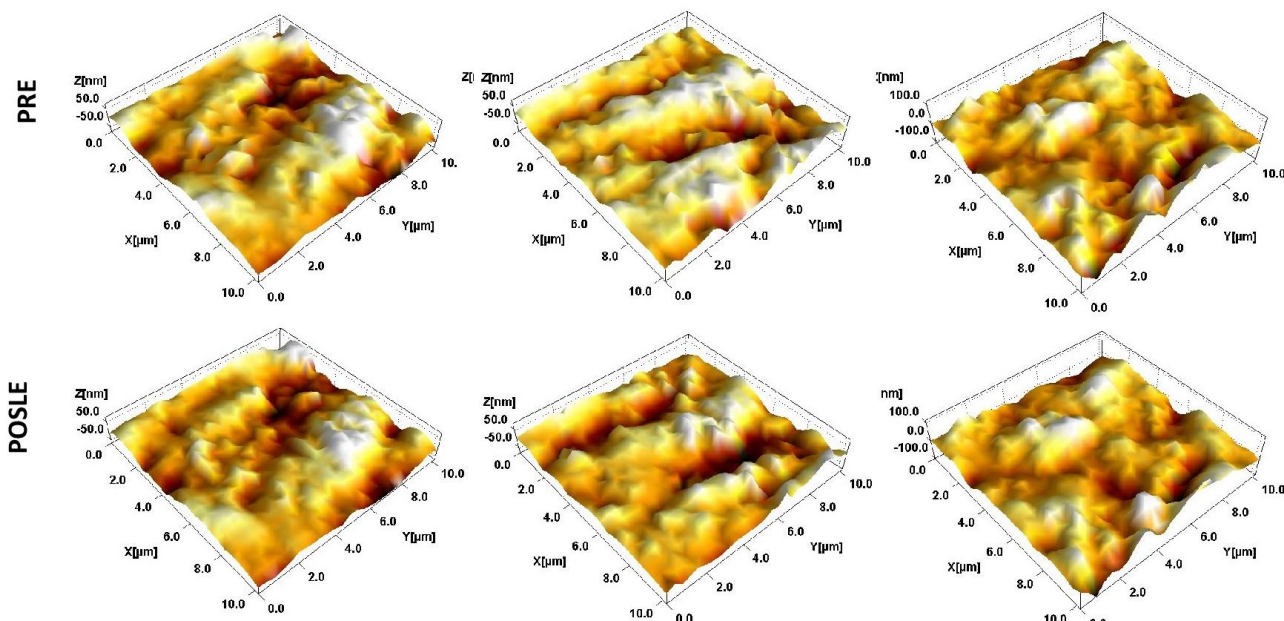
Tabela 1 Parametri hrapavosti uzorka pre i posle korozivnih testova, određenih na površinama od 80x80μm

	Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3	
	Pre	Posle	Pre	Posle	Pre	Posle
Sa [nm]	136,05	129,76	133,53	125,73	125,59	120,86
Sa dev.[nm]	36,68	20,88	46,58	36,11	38,67	29,06
Ssk[nm]	-1,01	-0,79	-0,69	-0,71	-0,18	-0,32
Ssk dev.[nm]	0,27	0,17	0,55	0,34	0,26	0,17
S10z[nm]	1957,0	1781,13	2065,7	1943,0	1954,3	2001,2
S10z dev.[nm]	740,9	347,9	634,8	494,06	857,72	783,55

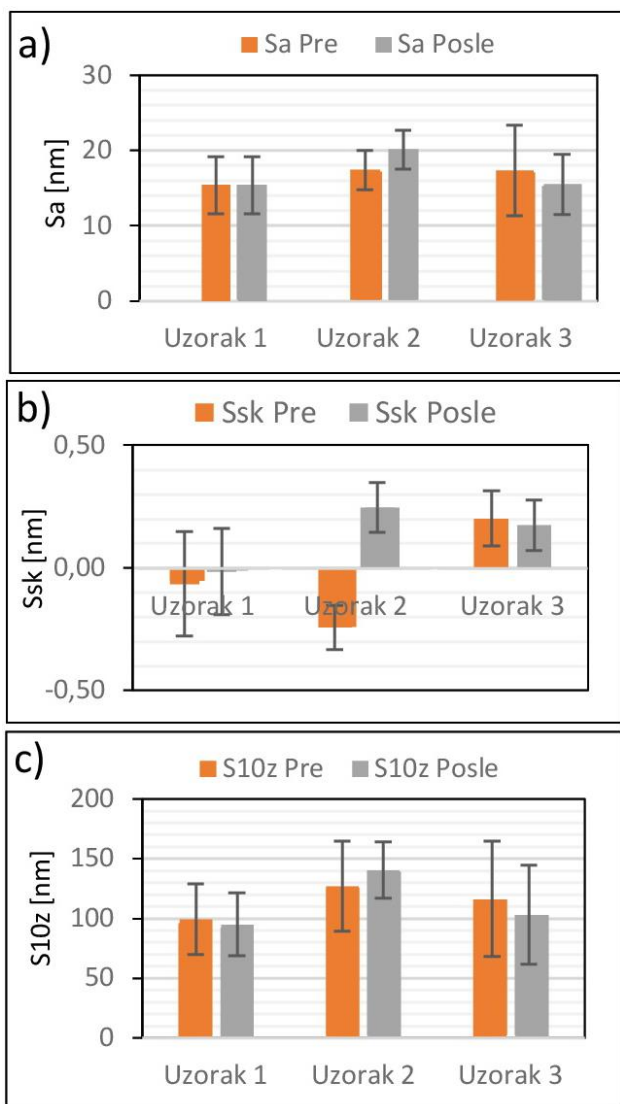
Uzorak 1-I-D

Uzorak 2-I-L

Uzorak 3-1-D



Slika 2. Topografije površina uzorka, pre i posle korozivnih testova, merenja na 10x10μm



Slika 3. Uporedni prikaz parametara hrapavosti svih uzoraka, određenih na površinama od $10 \times 10 \mu\text{m}$, pre i posle korozionih testova u različitim medijumima: a) parametar Sa, b) parametar Ssk, c) parametar S10z.

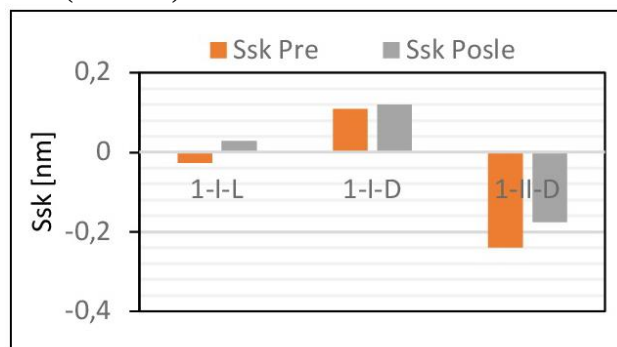
Promene parametara hrapavosti su za različite uzorke prikazane preko histograma na Slici 3. Odatle se može videti da uzorak 1 nakon izlaganja korozionom medijumu ima nešto nižu vrednost parametra Sa i manju devijaciju, što je su suprotnosti sa rezultatima istraživanja [6]. Za isti uzorak vidljivo je i smanjenje parametara Ssk i S10z što se zapravo pripisuje lokalnoj koroziji i smanjenja određenih vrhova.

Kod uzorka 2 nakon izlaganja medijumu dolazi do povećanja vrednosti parametara Sa, Ssk, S10z, što je u saglasnosti sa rezultatima istraživanja [6].

Blago povećanje parametra S10z i prelaz Ssk iz negativnog u pozitivan ukazuje na to da prilikom korozije dolazi izražene promene polariteta površine. Povećanje vrednosti parametra Ssk je značajno i ono ukazuje na to da prilikom korozije, gubitak materijala nije ujednačen na celoj površini. Ono je manje izraženo u dubokim mikro-risevima a na površini dolazi do nastanka novih ispupčenja koja uvećavaju vrednosti parametra Ssk (u pozitivnom smeru). Kod uzorka 3, nakon izlaganja medijumu dolazi do blagog smanjenja parametara Sa,

S10z i Ssk. Slično kao i kod prethodnog uzorka, smanjenje vrednosti Ssk parametra ukazuje na to da se gubitak materijala intenzivnije dešava na površini bez riseva i da dolazi do nastanka većeg broja uzvišenja. Ova činjenica nameće zaključak da određene faze u materijalu na površini, van riseva, manje korodiraju i manje se rastvaraju u ispitivanom medijumu. Odnosno one su otpornije na koroziju.

Kada se porede promene parametara hrapavosti (Sa, Ssk, S10z) usled korozije može se uočiti velika razlika između različitih medijuma. Tako veštačka pljuvačka (Uzorak 1) izaziva najmanja promenu ovih parametara a nešto agresivniji medijum predstavlja EludrilClassic (Uzorak 3). Najveće razlika parametrima pre i nakon korozije su uočene za slučaj izlaganja medijumu Aquafresh my big teeth (Uzorak 2).



Slika 4. Ssk parametar hrapavosti, određen na površinama od $10 \times 10 \mu\text{m}$, indentičnih lokacijama pre i posle korozionih testova, Uzorak 1

Na slici 3. ustanovljeno je da se sve devijacije srednjih vrednosti parametara hrapavosti, izuzev devijacije parametra hrapavosti Ssk kod uzorka 2, značajno preklapaju. Stoga se postavlja pitanje značajnosti (signifikantnost) uočenih razlika pa samim time i dobijenih rezultata.

Međutim, iz razloga što su se promene pratile na identičnoj mikro-lokaciji, pre i nakon izlaganja korozionom medijumu, moguće je izvršiti adekvatno poređenje rezultata. Kao primer toga na slici 4 prikazana je promena Ssk parametra na uzorku 1 pre i nakon izlaganja medijumu na indentičnim lokacijama od $10 \times 10 \mu\text{m}$. U zavisnosti od lokacije primetna je velika oscilacija u ovom parametru po uzorku, međutim za sve lokacije je uočen trend porasta vrednosti ovog parametra.

To nedvosmisleno ukazuje na generalni trend kod ovog uzorka, koji se kod prikaza srednjih vrednosti Ssk ne može statistički potvrditi zbog velike razlika u nano-hrapavosti (parametru Ssk) na različitim lokacijama po uzorku. Identično ponašanje je utvrđeno i za većinu ostalih uzoraka i merenja.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog istraživanja korozije Ni-Ti ortodontske žice u različitim medijumima mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Topografija površine ispitivanih žica od Ni-Ti legure je prilično ujednačenog karaktera. Zbog postojanja mikro-riseva površine su negativnog polariteta a parametri hrapavosti ispitivanih

ortodontskih žica su prilično ujednačeni na kod svih uzoraka.

- Uočeno je da se mikro topografija površine uzoraka značajno menja u svim korozionim testovima.
- Mogućnost merenje topografije iste oblasti na uzorku nudi višestruke prednosti u oceni korozije: eliminiše se uticaj različite hrapavosti površine uzorka na rezultate eksperimenta, dobija se mogućnost praćenja dejstva korozije na tačno određenoj lokaciji i mogu se izolovano posmatrati efekti na različite parametre hrapavosti koji su uzrokovani korozijom.
- Korozija u Ni-Ti žice se u veštačkoj pljuvački pretežno odvija na površinama izloženijim korozionom medijumu, dok je u dolinama (risevima) ona manje izražena.
- Korozija u sredstvu za ispiranje usta Aquafresh BiGTeeth je veoma intenzivn. Uzrokuje koroziju koja se pretežno odvija na ravnim i izloženijim površinama, stvarajući nova uzvišenja i menjajući polaritet površine u pozitivan.
- Korozija u sredstvu za ispiranje usta Eludril classic uzrokuje manje izraženu promenu hrapavosti ali i promenu polariteta površine.
- Kod svih uzoraka je uočeno da promene u parametrima hrapavosti, nakon uzrokovanih korozijom, nisu ujednačene na svim lokacijama po uzorli. To dovodi do zaključka da se utvrđivanje uticaja korozije na određene parametre hrapavosti može adekvatno vršiti samo na indetičnim mikro-lokacijama na uzorcima ili ispitivanjem veoma glatkih i nerealnih uzoraka.

5. LITERATURA

- [1] R.S. Nanda, Y. Tosun, Biomechanics in orthodontics: Principles and practice, 2010.
- [2] K. House, F. Sernetz, D. Dymock, J.R. Sandy, A.J. Ireland, Corrosion of orthodontic appliances-should we care?, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Vol.133, pp.584–592, 2008.
- [3] C.M. Ogawa, K. Faltin, F.A. Maeda, C.L.F. Ortolani, R.O. Guaré, C.A.B. Cardoso, A.L.F. Costa, In vivo assessment of the corrosion of nickel–titanium orthodontic archwires by using scanning electron microscopy and atomic force microscopy, Microsc. Res. Tech, Vol. 83, pp. 928–936, 2020.

[4] K. House, F. Sernetz, D. Dymock, J.R. Sandy, A.J. Ireland, Corrosion of orthodontic appliances-should we care?, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Vol 133, pp.584–592, 2008 .

[5] M. Cioffi, D. Gilliland, G. Ceccone, R. Chiesa, A. Cigada, Electrochemical release testing of nickel-titanium orthodontic wires in artificial saliva using thin layer activation, Acta Biomater. Vol. 1 pp.717–724, 2005 .

[6] S.M. Castro, M.J. Ponces, J.D. Lopes, M. Vasconcelos, M.C.F. Pollmann, Orthodontic wires and its corrosion - The specific case of stainless steel and beta-titanium, J. Dent. Sci.Vol.10, pp. 1–7, 2015.

6. ZAHVALNOST

Istraživanje u ovom radu je finansirano od strane Evropske komisije, Horizont 2020, grant MSCA RISE Marija Sklodovska Kiri br. 872370.

Research in this paper has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 872370.

Kratka biografija:



Zoran Bobić rođen je u Vršcu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Proizvodnog mašinstva odbranio je 2020.god. kontakt: zoran.bobic57@gmail.com



Bojan Petrović rođen je 1975. god. rođen u Beogradu, Doktorirao je na Stomatološkom Fakultetu, Beograd 2010. god., a od 2017. je u zvanju vanredni profesor, Oblast interesovanja: dečja i preventivna stomatologija.



Sanja Kojić rođena je 1985. god. u Zrenjaninu, Master rad iz oblasti Elektronike je odbranila je na Fakultetu tehničkih nauka 2010. god., a od 2019. god. je u zvanju asistent. Oblast interesovanja: mikrofluidika, fleksibilna, tekstilna i nanoelektronika.



Pal Terek rođen je u Novom Sadu 1983. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. god., a od 2017. je u zvanju docenta, Oblast interesovanja su mu tehnologije livenja, inženjerstvo površina, nanotehnologije, biomedicinsko inženjerstvo.

ISTRAŽIVANJE TOPLOTNIH USLOVA U KABINAMA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA**RESEARCH OF THERMAL CONDITIONS IN CABINS OF AGRICULTURAL TRACTORS**

Damir Homa, Dragan Ružić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U radu je prikazano istraživanje toplotnih uslova u kabinama poljoprivrednih traktora. Rad se zasniva na terenskom ispitivanju, gde su se merile veličine koje su od značaja na toplotni komfor u traktorskoj kabini. Da bi se toplotni uslovi mogli uporediti u različitim traktorima, bilo je potrebno da se izračuna PMV indeks. Dobijeni rezultati su pokazali da samotraktor opremljen klima-uređajem može da ostvari zadovoljavajuće mikroklimatske uslove u kabini.

Ključne reči - Traktor, toplotni uslovi u kabini, mikroklima, toplotni osećaj, toplotni komfor, klima uređaj

Abstract – This paper presents the research of thermal conditions in the cabins of agricultural tractors. This paper is based on in-field experiment, where values that are important for the thermal comfort in the tractor cab were measured. In order to be able to show the thermal conditions in different tractors, it was necessary to calculate the PMV index. The obtained results showed that only a tractor with air-condition can achieve satisfactory microclimatic conditions in the cabin.

Keywords: Tractor, thermal conditions in the cabin, microclimate, thermal sensation, thermal comfort, air-conditioner

1. UVOD

Kabina traktora je zatvorenog oblika i zbog toga u njoj može nastati nedovoljno kvalitetno okruženje, a samim tim nastaje i osećaj lošeg komfora. Loš komfor ima uticaj na sposobnost i zdravlje traktoriste.

Na komfor putnika utiče više faktora koja se mogu podeliti u tri grupe: ambijentalni faktori, dinamički faktori i prostorni faktori. U ambijentalne faktore spada mikroklima, kvalitet vazduha, buka, promena pritiska, u dinamičke vibracije, udari i ubrzanja, a u prostorne faktore ergonomija putnika.

Cilj eksperimentalnih istraživanja predstavljenih u ovom radu jeste vrednovanje toplotnih uslova u kabinama poljoprivrednih traktora različite opremljenosti i konstrukcije. Na osnovu rezultata analizirane su zavisnosti konstrukcije, spoljašnjih uslova i režima rada i date su preporuke za poboljšanje uslova i daljih istraživanja.

NAPOMENA:

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

2. TEORETSKE OSNOVE**2.1 Specifičnosti mikroklimatskih uslova u motornom vozilu**

Toplotni uslovi u motornim vozilima se razlikuju od toplotnih uslova u građevinskim objektima, zbog veće asimetričnosti, neuniformnosti i promenljivosti parametara okoline u vremenu [1].

Staklene površine na traktorskoj kabini su veće nego kod automobila zbog veće preglednosti u radu. Samim tim, izolacioni material koji se može upotrebiti za zaštitu od toplote je sveden na minimum i može se upotrebiti samo na tavanici i na podu kabine.

- **Temperatura vazduha, temperatura unutrašnjih površina kabine i toplotno zračenje** – u letnjem periodu, u kabini može biti znatno viša temperatura nego napolju, zbog zračenja sunca kroz staklene površine. Zračenje sunca može iznositi 50 do 75% ukupnog dotoka toplote u kabinu [2]. Unutrašnje površine se zagrevaju kroz staklo i tako dolazi do zagrevanja vazduha u kabini. Taj efekat se zove efekat staklene bašte. Takođe, zbog sunčevog zračenja, zagrevaju se i spoljašnje površine kabine. Zbog svega toga, temperatura vazduha u kabini traktora može preći 50°C, a temperatura površina i 80°C [1]. Da bi se što bolje izbegli nepoželjni mikroklimatski uslovi u kabini, kabinu traktora je potrebno na neki način ohladiti prilikom visokih temperatura tokom leta, a takođe i zagrejati prilikom niskih temperatura zimi.
- **Kretanje vazduha u kabini** – u kabini traktora je nehomogeno strujno polje. Može biti posledica prirodnog ili prinudnog provetravanja. Prilikom prirodnog provetravanja, otvaranjem prozora, vrata, krova, može doći do velikih brzina vazduha sa velikim turbulencijama u kabini. Takođe i prilikom prinudnog provetravanja, uključivanjem ventilacije ili klimatizacije, mogu se pojaviti velike brzine vazduha.
- **Uticaj vlažnosti vazduha** – vlaga u kabini može nastati isparavanjem unete vode ili snega u kabinu ili isparavanjem postojeće vlage. Odaje je i traktorista, a takođe ulazi i ulaskom spoljašnjeg vazduha u kabinu. Prevelika vlažnost vazduha u kabini može izazvati i zamagljivanje stakala. U kombinaciji sa višim temperaturama, topao vlažan vazduh daje osećaj neudobnosti. Da bi se sve to izbeglo, vlažan vazduh se hladi i suši pomoću klima uređaja.

2.2 Uticajni faktori na opažanje mikroklimе

- Temperatura vazduha (t_a) – predstavlja temperaturu vazduha koja okružuje neku osobu, osrednjenu u vremenu i prostoru.
- Srednja temperatura zračenja (t_{mr}) – (srednja temperatura okolnih površina) je važan faktor u prenosu toplote između ljudskog tela i okoline. Smanjenje ili povećanje temperature okolnih površina za jedan stepen, ekvivalentno je smanjenju ili povećanju temperature vazduha za jedan stepen tj. koeficijenti prenosa toplote konvekcijom i zračenjem su veličine istog reda. Srednja temperatura vazduha može biti viša ili niža od temperature vazduha u istoj prostoriji.
- Kretanje vazduha (v_a) – može se opisati brzinom vazduha. Brzina vazduha je vektorska karakteristika koja predstavlja pravac, smer i intenzitet prostorne promene veoma male količine vazduha. Brzina vazduha je promenljiva u vremenu, samim tim i stepen turbulencije je od velikog uticaja na mikroklimu. Ljudi su najosetljiviji na promaju u oblasti nepokrivenih delova tela (lice, vrat, ruke). Međutim, potrebno je obezbediti minimalno kretanje vazduha za prenos materije i toplote iako je ono jedan od najčešćih uzroka neugodnosti.
- Vlažnost vazduha – Postojanje više ili manje vodene pare u vlažnom vazduhu često se razmatra kao veća ili manja vlažnost vazduha. Vlažnost vazduha ima određeni uticaj na osećaj toplote, jer se hlađenje ljudskog tela vrši i isparavanjem vode sa kože.
- Metabolizam (M) – je toplotna energija oslobođena usled hemijskih procesa u čovekovom telu i u zavisnosti je od fizičke aktivnosti. Jedinica mere metabolizma se označava sa Met (1 Met = 58,15 W/m²) i odnosi se na jedinicu površine tela.
- Izolacija odeće – jedinica koja se koristi za izražavanje izolacije odeće je Clo ($I_{cl} = 1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$). Prema Clo skali naga osoba ima $I_{cl} = 0,0 \text{ Clo}$, a prosečno odelo ima $I_{cl} = 1,0 \text{ Clo}$. Izolacija od 1 Clo činiće da se čovek koji sedi (M = 1 Met) oseća prijatno u sredini sa 21°C, 50% relativne vlažnosti i sa brzinom vazduha od 0,1 m/s [2].

2.3 Vrednovanje toplotnog osećaja – PMV indeks i PPD pokazatelj

PMV (Predicted Mean Vote) indeks pokazuje koliko je čovek blizu komfora, kada je PMV = 0 [3]. Odnosi se na toplotni osećaj celog tela u stacionarnim uslovima, ali se može dobrom aproksimacijom primeniti i na uslove sa malim promenama jednog ili više parametara, ali se mora uzeti u obzir i faktor promenljivosti u vremenu [1]. PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) pokazatelj, pokazuje koliko će osoba (u procentima) biti nezadovoljno u nekom toplotnom okruženju, uzimajući u obzir i individualne razlike. PPD je u funkciji od PMV indeksa.

Tabela 1. Zavisnost između PMV i PPD

PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Osećaj	Hladno	Sveže	Umereno sveže	Neutralno	Umereno toplo	Toplo	Vrelo
PPD	90%	75%	25%	5%	25%	75%	90%

3. METOD RADA

3.1 Prikaz ispitivanih vozila

Ispitivanje se radilo na četiri različita traktora: Belarus 82.1, Belarus 820 sa toniranim staklima, Belarus 820 sa klimatizacijom i New Holland T6030. Traktori su prikazani na slici 1.



Slika 1. Ispitivani traktori (gore levo – Belarus 82.1; gore desno – Belarus 820 sa toniranim staklima; dole levo – Belarus 820 sa klimatizacijom; dole desno – New Holland T6030 – sa toniranim staklima i sa fabričkom klimatizacijom)

3.2 Opis terenskog eksperimenta

Tokom eksperimenta, merene su veličine koje su od značaja za toplotni komfor u kabini traktora: temperatura u više tačaka u kabini traktora (u predelu nogu, u predelu glave, na čovekovom telu, na volanu, u ventilacionim otvorima, crne kugle), vlažnost vazduha, pritisak vazduha u kabini, brzina vazduha, temperatura zračenja, kao i temperatura spoljašnjeg vazduha. Istraživanje je rađeno tri različita dana na istom mernom mestu u stacionarnom stanju, pri približno istim spoljašnjim uslovima.

Da bi se pojednostavilo istraživanje, usvojeni su određeni parametri na osnovu empirijskih podataka i pretpostavki:

- Srednja vrednost temperature zračenja:

$$t_{mr} = \frac{t_{mrA} + t_{mrB}}{2}$$

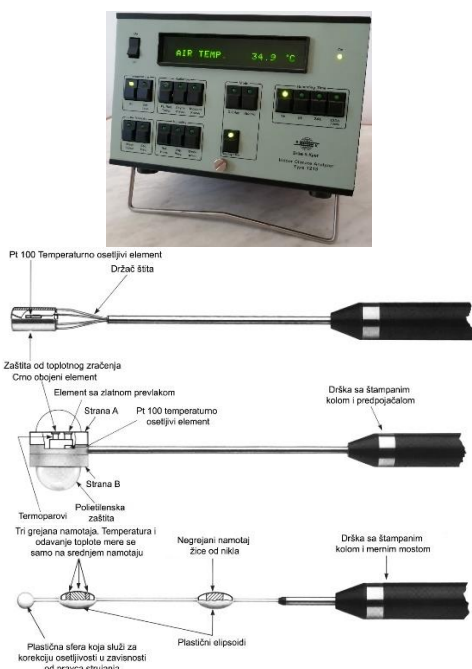
- Intenzitet sunčevog zračenja je usvojen da je iznosio 800 W/m² [4],
- Za određivanje toplotnog osećaja nije uzet uticaj direktnog sunčevog zračenja na kožu i odeću,
- Laka letnja odeća, čija izolacija iznosi 0,4 Clo uz dodatak izolacije putem sedišta od 0,2 Clo, što je sve zajedno $I_{cl}=0,6 \text{ Clo}$.

Ispitivani traktori su postavljani tako da vetrobransko staklo gleda u pravcu severozapada. Pri svim merenjima, merna oprema je bila postavljena na isti način.

3.3 Prikaz merne opreme

Za eksperimentalno istraživanje korišćena je sledeća merna oprema: Brüel & Kjær 1213 analizador sobne klime sa davačima (slika 2), Expert 9520 modul sa 7 termoparova i senzorom relativne vlažnosti vazduha Galltec tip FG80J (slika 3), kombinovani instrument AMI 310 (slika 4) sa senzorom temperature, senzorom vlažnosti vazduha, apsolutnog pritiska vazduha i sa

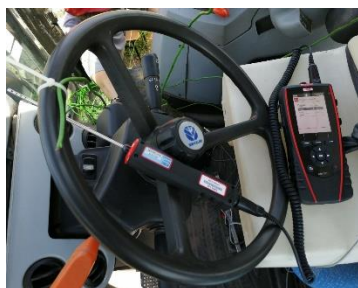
anemometrom sa lopaticama, i infracrveni termometar All-Sun EM520B (slika 5).



Slika 2. Bruel & Kjaer 1213 analizator sa davačima (davač temperature vazduha, davač temperature zračenja, davač brzine vazduha)



Slika 3. Expert 9520 komunikacioni modul i senzor relativne vlažnosti vazduha Galltec tip FG80J



Slika 4. Merni sistem AMI 310 sa senzorom temperature, i sa anemometrom sa lopaticama



Slika 5. All-Sun EM520B infracrveni termometar

3.4 Postupak ispitivanja

- 03.08.2020 godine, urađeno je ispitivanje na Belarus 82.1 traktoru. Pre početka merenja, izmerene su temperature svih staklenih površina. U 11:44h, kabina traktora je zatvorena i merenje je započeto. Posle 41 minuta, počelo se sa rashlađivanjem kabine otvaranjem prozora, zadnjeg stakla, bočnih vrata i krova kabine. Merenje je završeno u 12:53h, kada se temperatura vazduha u kabini stabilizovala.
- 07.08.2020 godine, urađeno je ispitivanje na Belarus 820 traktoru sa toniranim staklima. Merenje je počelo u 13:45h kada je kabina traktora zatvorena. 23 minuta kasnije, počelo se sa rashlađivanjem otvaranjem prozora, vrata i zadnjeg stakla, kao i merenje svih staklenih površina traktora. Merenje je završeno u 14:30h kada se temperatura vazduha u kabini stabilizovala. Na kraju, izmerene su temperature svih staklenih površina.
- 11.08.2020 godine, urađeno je ispitivanje Belarus 820 traktora sa klimatizacijom. Kabina traktora je zatvorena u 11:32h i merenje je počelo. Izmerene su temperature svih staklenih površina. U 11:59h je uključena ventilacija kabine, a u 12:09h je isključena. Klimatizacija je uključena u 12:07h. Merenje je završeno u 12:45h kada se temperatura vazduha u kabini stabilizovala. Izvršeno je merenje svih staklenih površina.
- 11.08.2020 godine urađeno je merenje New Holland T6030 traktora. Merenje je započeto u 11:52h kada je kabina traktora zatvorena. U 12:19h, kabina traktora je otvorena i počelo je rashlađivanje otvaranjem vrata i zadnjeg stakla. Izvršeno je merenje svih staklenih površina. U 12:21h, uključena je klimatizacija, a u 12:53h merenje je završeno kada se temperatura vazduha stabilizovala. Na kraju je izvršeno merenje svih staklenih površina.

4. REZULTATI

Usvojeno je da se, pored osnovnih izmerenih veličina, koriste PMV indeks i PPD pokazatelj da bi se mogli uporediti različiti toplotni uslovi u različitim kabinama i različitim okolnostima. Bez obzira što su rezultati negativni u pogledu komfora, iz njih se može videti razlika između kabina sa i bez klimatizacije i sa i bez toniranih stakala.

Za određivanje PMV i PPD, korišćeni su podaci (brzina vazduha, temperatura zračenja i temperatura vazduha) mereni sa Bruel & Kjaer mernim uređajem. Podatak za relativnu vlažnost vazduha meren je sa Galltec psihometrom u slučaju Belarus 82.1 traktora, a u slučaju preostala tri traktora, podatak za relativnu vlažnost vazduha meren je pomoću AMI 310 mernog uređaja.

PMV indeks i PPD pokazatelj su računani za vrednost metabolizma od 2 do 3,2 Met.

Tabela 2. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u Belarus 82.1 kabini

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	11:48	3,82 ÷ 4,85	100
...	...	...	...
Otvoravanje kabine	12:25	5,07 ÷ 5,98	100
...	...	...	...
Kraj merenja	12:46	4,02 ÷ 5,29	100

Tabela 3. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u Belarus 820 kabini sa toniranim staklima

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	13:45	4,06 ÷ 5,05	100
...	...	...	...
Otvoravanje kabine	14:08	5,41 ÷ 6,29	100
...	...	...	...
Kraj merenja	14:30	3,56 ÷ 4,71	100

Tabela 4. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u Belarus 820 kabini sa klimatizacijom

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	11:32	4,07 ÷ 5,06	100
...	...	...	...
Uključena ventilacija	11:59	6,58 ÷ 7,38	100
...	...	...	...
Zatvorena kabina	12:09	6,14 ÷ 6,96	100
...	...	...	...
Uključena klimatizacija	12:17	6,77 ÷ 7,54	100
...	...	...	...
Kraj merenja	12:45	2,99 ÷ 4,13	99 ÷ 100

Tabela 5. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u New Holland kabini

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	11:53	2,9 ÷ 4	98,6 ÷ 100
...	...	...	...
Otvoravanje kabine	12:19	4,97 ÷ 6,14	100
...	...	...	...
Uključivanje klimatizacije	12:22	3,1 ÷ 4,3	100
...	...	...	...
Kraj merenja	12:52	0,97 ÷ 2,42	24,7 ÷ 91,7

Iz prikazanih rezultata se može primetiti da je PMV indeks jedino u New Holland traktoru bio u granicama bližim toplotnom komforu (oko 1), ali se i to smatra da je veoma toplo u kabini. U ostalim traktorima, PMV indeks je izvan granica normale, čak u nekim slučajevima prelazi i 7,5.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu urađenih eksperimenata, doneti su odgovarajući zaključci.

1. U toplim spoljašnjim uslovima, značajno povoljniji uslovi se dobijaju kada kabina poseduje klimatizaciju, što se moglo i očekivati. Prilikom zagrevanja kabine, znatno više temperature se javljaju u predelu glave, nego u predelu nogu. Ta razlika može biti i 10°C. Prilikom rashlađivanja kabine pomoću klimatizacije, temperatura vazduha znatno opada, a i razlika između temperature u predelu glave i temperature u predelu nogu se smanjuje. Kod traktora New Holland, ta razlika je manja od 0,5°C. Kod traktora Belarus, to nije bio slučaj. Iz toga se može zaključiti da su ventilacioni otvori kod New Holland traktora bolje sprovedeni, i da se postiže skoro homogeno temperaturno polje.
2. Prilikom zagrevanja kabine, temperatura zračenja iz pravca tavanice je veća od temperature zračenja iz pravca poda. Međutim, prilikom provetravanja kabine otvaranjem vrata, prozora i krova, temperatura

zračenja iz pravca tavanice je manja od temperature zračenja iz pravca poda. To se ne dešava prilikom rashlađivanja kabine primenom ventilacije i klimatizacije.

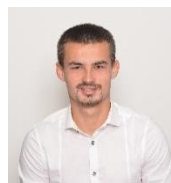
3. Ono što se moglo primetiti je i velika temperatura iznad glave kod traktora Belarus 820 sa klimatizacijom. Primenom nekog izolacionog materijala, pretpostavka je da bi se temperatura iznad glave smanjila za par stepeni.
4. Tonirana stakla na traktoru Belarus 820 su imala veću temperaturu nego stakla na traktorima Belarus 82.1 i Belarus 820 sa klimatizacijom. Kabina traktora sa toniranim staklima se brže ohladi otvaranjem vrata i prozora nego kabina traktora Belarus 82.1. Prilikom rashlađivanja Belarusa 82.1, krov je bio podignut, a kod Belarusa 820 sa toniranim staklima nije, a takođe je i dan kada je izvršeno merenje Belarusa 820 sa toniranim staklima bio topliji nego prilikom merenja Belarus 82.1 traktora.
5. Kod Belarus 820 sa klimatizacijom, povoljniji toplotni uslovi su se dobijali kada su se ventilacioni otvori podesili u položaj pod uglom od 90° prema nazad nego u položaju pod uglom od 45° prema nazad.

Pravci daljih istraživanja i poboljšanja – Iz prikazanih rezultata se vidi potreba za korišćenjem klima-uređaja u toplim spoljašnjim uslovima. Pored toga, poboljšanje se bi se postiglo primenom toniranih stakala na kabini, kombinacijom prednjeg i gornjeg razvoda vazduha, kao i ugradnjom ventilacionih otvora sa strane rukovaoca. Primenom krova svetle boje i reflektivnog materijalasmanjila bi se apsorpcija sunčevog zračenja, time bi se smanjila i temperatura vazduha u kabini, ubrzalo rashlađivanje kabine i potrošnja energije na klimatizaciju.

6. LITERATURA

- [1] Ružić D.: Uticaj klimatizacije na toplotni komfor u putničkom automobilu, magistarski rad, FTN Novi Sad, 2006.
- [2] Ružić D.: Oprema motornih vozila, skripta, FTN Novi Sad, 2019.
- [3] Innova Air Tech Instruments, Thermal comfort, 2002.
- [4] www.ec.europa.eu (pristupljeno uavgustu 2020.)

Kratka biografija:



Damir Homa rođen je u Ruskom Krsturu 1995. godine. Diplomirao 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka, smer Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo, na kojem iste godine upisuje master studije, smer Automobilsko inženjerstvo.



Dragan Ružić (1973) diplomirao je 1999. godine na Fakultetu tehničkih nauka, smer Motori i motorna vozila i poljoprivredna mehanizacija. 2006. godine magistrirao je na Fakultetu tehničkih nauka, smer Motori i vozila. U novembru 2013. godine je odbranio doktorat na temu ergonomije u motornim vozilima (toplotni komfor). Na Fakultetu tehničkih nauka radi od 2000. godine, a od 2018. godine je u zvanju vanrednog profesora na Katedri za motore i vozila.

NUMERIČKE SIMULACIJE STRUJANJA NANOJONSKE TEČNOSTI KROZ PRAVU CEV KRUŽNOG POPREČNOG PRESEKA**NUMERICAL SIMULATIONS OF IONIC-NANOFLUID LIQUID FLOW TROUGH A HORIZONTAL PIPE OF CIRCULAR CROSS SECTION**

Nikola Drobac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Predmet istraživanja ovog rada jeste laminarno strujanje nanojonske tečnosti kroz pravu cev kružnog poprečnog preseka. Cilj ovog rada je istraživanje prinudne konvekcije i hidrauličkih karakteristika nanojonske tečnosti. Istraživanje je urađeno primenom računarske dinamike fluida (Computational Fluid Dynamics-CFD). Rezultati numeričkih simulacija verifikovani su na dva načina. Prilikom strujanja vode kroz cev, upoređen je pad pritiska dobijen simulacijom sa padom pritiska dobijenim Darsi-Vajbahovim (Darcy - Weisbach) izrazom. Prilikom strujanja jonske i nanojonske tečnosti kroz cev, upoređen je Nuseltov broj (Nusselt) dobijen podacima iz simulacija sa Nuseltovim brojem primenom Šahove (Shah's) jednačine. Primenjeni su kriterijumi kako bi se sagledalo da li predmetnu nanojonsku tečnost ima smisla koristiti u sistemima za prenos toplote. Rezultati numeričke simulacije su uspešno verifikovani, a ispitivani fluid ispunjava kriterijume i može da se koristi u sistemima za prenos toplote kada je masena koncentracija nano čestica 0,5 % i 1 %, a ulazna temperatura ispitivnog fluida 335 K.

Ključne reči: Jonska tečnost, nanočestice, nanojonska tečnost, računarska dinamika fluida

Abstract – The subject of this research was laminar flow of ionic-nanofluid through a horizontal tube with circular cross-section. The aim of this research was investigating of forced convection and hydraulic characteristics in a straight pipe section using computational fluid dynamics (CFD). Verification of numerical simulation data is executed in two ways: with water flow through a pipe, and comparison between a pressure drop results from simulation and the pressure drop obtained from the Darcy - Weisbach equation. Shah's equation was used for calculation of Nusselt's number and it was compared with Nusselt number calculated from CFD simulations results for the purpose of numerical simulation result verification. To check whether using of examined ionic nanofluid is meaningful in heat transfer systems, a few criteria was used. Results of numerical simulations was successfully verified, and it was found that examined fluid meets the criteria for mass concentrations of 0.5 % and 1 % nanoparticles and inlet temperature of fluid $T=335$ K.

Keywords: Ionic fluid, nanoparticles, nanoionic fluid, computational fluid dynamics

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Siniša Bikić.

1. UVOD

Energetska kriza je jedan od najvažnijih i najvećih problema u skorijoj istoriji planete Zemlje. Prema najnovijim istraživanjima potreba za energijom će u periodu od 2010. do 2040. godine porasti za 56%. Trenutno 80% energije se dobija iz fosilnih goriva [1].

Zajednica za zaštitu životne sredine zabrinuta je zbog globalnog zagrevanja i emisije CO₂ koje nastaje sagorevanjem fosilnih goriva. Ova zabrinutost, kao i visoke cene i potrošnja fosilnih goriva, naterali su istraživače u oblasti energetike da pronađu nove, pouzdanije, čistije i ekonomski isplativije izvore energije. Isto tako, pored istraživanja, unapređenja i pronalaženja novih obnovljivih izvora energije, paralelno se vrše istraživanja u oblasti unapređenja efikasnosti postojećih sistema koji kao energiju troše fosilna goriva. Ukoliko u sistemu postoji bolja razmena toplote, sistem je efikasniji.

Upravo zbog sposobnosti bolje razmene toplote, nanofluidi, jonske i nanojonske tečnosti pronašli su svoju primenu u industriji [1]. Predmet istraživanja ovog rada je laminarno strujanje nanojonske tečnosti kroz pravu cev kružnog poprečnog preseka. Cilj ovog rada je istraživanje prinudne konvekcije i hidrauličkih karakteristika nanojonske tečnosti.

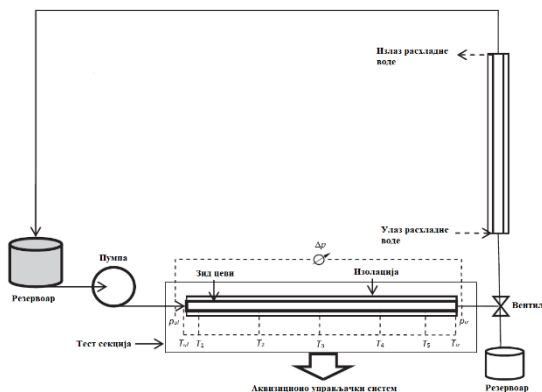
2. MATERIJAL I METOD**3.2 Nanojonska tečnost**

Jonske tečnosti predstavljaju grupe soli rastvorene u tečnosti, dok nanojonske tečnosti predstavljaju jonsku tečnost u kojoj su suspendovani određeni hemijski elementi ili hemijska jedinjenja u vidu čestica ne većih od 100 nm. Predmetna nanojonska tečnost predstavlja suspenziju nanočestica aluminijum oksida u jonskoj tečnosti (1-Butyl-2,3-dimethylimidazolium bis {(trifluoromethyl) sulfonyl}-imide) i ima oznaku [Al₂O₃][C₄mim][NTf₂] [2].

2.2 Primena računarske dinamike fluida

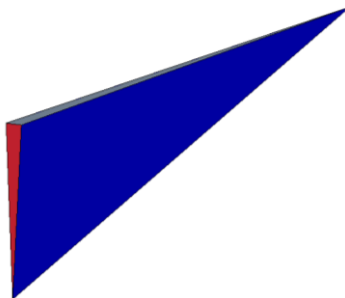
Model koji je korišćen u numeričkoj simulaciji napravljen je na osnovu eksperimentalnog postrojenja prikazanog na slici 2.1. Ovo postrojenje čine dva rezervoara, pumpa, ispitna sekcija, izmenjivač toplote, trokraki ventil i diferencijalni manometar. Protok tečnosti kroz eksperimentalno postrojenje ostvaruje se pomoću pumpe. Protok tečnosti može da se podešava promenom broja obrtaja pumpe pomoću frekventnog regulatora. Pomoću pumpe merio se protok tečnosti. Pumpa je predhodno kalibrisana pomoću zapreminske metode. Rezervoar postavljen ispred pumpe obezbeđuje njen normalan rad. Izmenjivač toplote

ima ulogu da pothlađuje fluid na izlazu iz test sekcije, da bi na ulazu temperatura fluida bila konstantna. Temperatura zida cevi merena je pomoću pet termoparova postavljenih lemljenjem duž test sekcije.



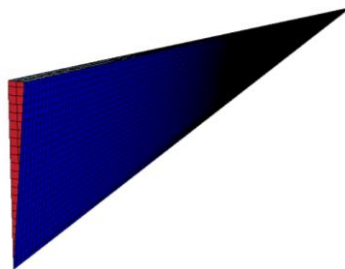
Slika 2.1 Eksperimentalno postrojenje za ispitivanje nanofluida [2]

Za potrebe ostvarivanja cilja istraživanja primenjena je računarska dinamika fluida. Numeričke simulacije su urađene u programskom paketu Star CCM+. Kao geometrijski model korišćena je prava cev, kružnog poprečnog preseka dužine $L=1,75$ [m] i unutrašnjeg prečnika $D=0,014$ [m], iz koje je izdvojen klin ugla 5° , slika 2.2.



Slika 2.2 Geometrijski model

Nakon kreiranja geometrijskog modela, kreirana je strukturirana zapreminska mreža. Veličina baze jedne ćelije iznosila je 0,0012 m. Generisana mreža sastojala se iz oko 200000 ćelija, slika 2.3.



Slika 2.3 Mrežni model

Kao granični uslov definisan je toplotni fluks na zidu cevi čija je vrednost iznosila $q=13300$ [W/m²]. Kao početni uslovi definisani su pritisak, koji je imao vrednost atmosferskog pritiska, brzina strujanja fluida kroz cev koja je zavisila od Reynoldsovog broja i fizičkih osobina jonske i nanojonske tečnosti za određenu ulaznu temperaturu. Sve simulacije urađene su za dve vrednosti Reynoldsovog broja $Re=100$ i $Re=512$, za tri različite ulazne temperature nanofluida $T=293$ [K], $T=303$ [K], $T=335$ [K] i tri različite masene koncentracije nanočestica 0,5%, 1%, 2,5%.

2.3 Matematički model

Da bi se potvrdili rezultati simulacije najpre je simuliran pad pritiska Δp [Pa] pri strujanju vode kroz pravu cev. Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima dobijenim Darsi-Vajsbahovim izrazom [3]:

$$\Delta p = \rho \cdot \mu \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2}, \quad (1)$$

ρ [kg/m³] predstavlja gustinu tečnosti, L [m] je dužina cevi, D [m] unutrašnji prečnik cevi, v [m/s] je brzina strujanja tečnosti kroz cev, dok μ predstavlja koeficijent trenja i računa se na sledeći način:

$$\mu = \frac{64}{Re}, \quad (2)$$

Re [-] predstavlja Reynoldsov broj. Drugi način potvrde rezultata simulacije realizovan je upoređivanjem Nuseltovog broja dobijenim simulacijom sa Nuseltovim brojem dobijenim primenom Šahove jednačine [2]. Lokalni koeficijent prelaza toplote α [W/m²K] izračunat je na osnovu temperature zida cevi $T_w'(x)$ [K] i srednje temperature fluida u osi cevi $T_f'(x)$ [K] dobijenih iz simulacije.

$$\alpha(x) = \frac{q}{T_w'(x) - T_f(x)}, \quad (3)$$

član q [W/m²] predstavlja toplotni fluks na zidu cevi. Zatim je izračunat Nuseltov broj Nu :

$$Nu = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda}, \quad (4)$$

λ [W/mK] predstavlja toplotnu provodljivost fluida. Nakon toga su očitani podaci iz literature koji su korišćeni za izračunavanje Prantlovog broja Pr i Šahove jednačine. Prantlov broj izračunat je uz pomoć sledeće jednačine i predstavlja odnos molekularne difuzije količine kretanja i molekularne toplotne difuzije:

$$Pr = \frac{\eta \cdot c}{\lambda}, \quad (5)$$

gde je η [Pa·s] dinamička viskoznost, a c [J/KgK] toplotni kapacitet. Šahova jednačina uz pomoć koje je izračunat Nuseltov broj za laminarni režim strujanja glasi:

$$Nu(x) = \begin{cases} 1,953 \left(RePr \frac{D}{x} \right)^{\frac{1}{3}} & \left(RePr \frac{D}{x} \right) \geq 33,3 \\ 4,364 + 0,0722 RePr \frac{D}{x} & \left(RePr \frac{D}{x} \right) \leq 33,3 \end{cases} \quad (6)$$

x [m] predstavlja aksijalno rastojanje od ulaza cevi do tačke za koju se određuje Nuseltov broj.

2.4 Kriterijumi za procenu opravdanosti primene nanojonske tečnosti

Kako bi se procenilo da li je smisleno koristiti predmetni fluid u sistemima za prenos toplote, primenjeni su određeni kriterijumi.

U ovom radu su primenjena tri kriterijuma.

Prvi kriterijum δ predstavlja odnos osrednjenog koeficijenta prelaza toplote nanojonske i jonske tečnosti, podeljen sa odnosom pada pritiska nanojonske i jonske tečnosti:

$$\delta = \left(\frac{\alpha_{nf}}{\alpha_{bf}} \right) / \left(\frac{\Delta p_{nf}}{\Delta p_{bf}} \right), \quad (3.11)$$

Δp_{nf} [Pa], Δp_{bf} [Pa] predstavljaju pad pritiska kroz cev nanojonske i bazne (jonske) tečnosti. Osrednjena vrednost koeficijenta prelaza toplote duž cevi dobijena je iz sledećeg izraza:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{L} \int_0^L \alpha dx. \quad (8)$$

Da bi ovaj kriterijum bio ispunjen potrebno je da vrednost δ bude veća od 1 ($\delta > 1$).

Drugi kriterijum predstavlja odnos Muromcefovog (Mouromtseff) broja Mo nanojonske i jonske tečnosti. Ovaj odnos zapravo predstavlja odnos toplotne provodljivosti λ nanojonske i jonske tečnosti:

$$\frac{Mo_{nf}}{Mo_{bf}} = \frac{\lambda_{nf}}{\lambda_{bf}}. \quad (9)$$

Da bi ovaj kriterijum bio ispunjen potrebno je da odnos Muromcefovih brojeva ima vrednost veću od 1.

Treći kriterijum definiše se kao odnos dinamičke viskoznosti nanojonske i jonske tečnosti η_{nf} , η_{bf} stepenovan na 1/3, a da bi bio ispunjen mora da ima vrednost nižu od odnosa toplotne provodljivosti nanojonske i jonske tečnosti λ_{nf} , λ_{bf} :

$$\left(\frac{\eta_{nf}}{\eta_{bf}} \right)^{1/3} < \left(\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_{bf}} \right). \quad (10)$$

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Pad pritiska vode kroz cevovod

U tabeli 1 prikazane su vrednosti padova pritiska vode kroz pravu cev, dobijene primenom Darsi-Vajbahovog obrasca, za različite brzine strujanja tečnosti i rezultati pada pritiska vode kroz pravu cev dobijeni računarskom dinamikom fluida.

Tabela 2.1. Rezultati dobijeni Darsi-Vajbahovom jednačinom upoređeni sa rezultatima numeričke simulacije

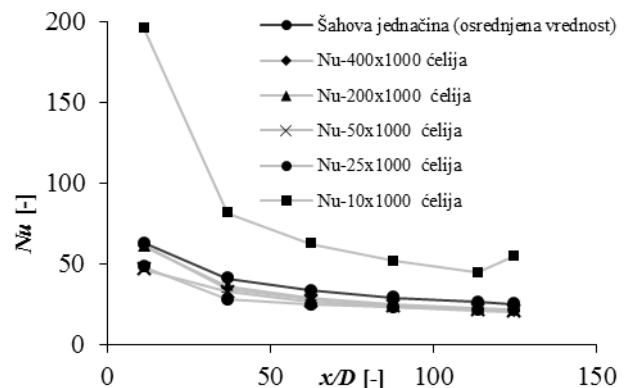
v [m/s]	Δp [Pa]- Darsi-Vajbahovo obrazac	Δp [Pa]- Numerička simulacija	Razlika rezultata [%]
0,2	425,72	423,6	0,40
0,3	638,57	630,19	1,33
0,4	851,43	865	1,57
0,55	1170,72	1187	1,37

Rezultati iz prethodne tabele su pokazali da ovako podešena mreža daje zadovoljavajuće rezultate, koji su veoma bliski literarnim vrednostima.

3.2 Nezavisna mrežna analiza

Kako bi se utvrdilo da li broj ćelija zapreminske mreže daje zadovoljavajuće rezultate urađena je nezavisna mrežna analiza. Simulirana je prinudna konvekcija toplote prilikom strujanja nanojonske tečnosti kroz cev.

Za iste ulazne parametre, korišćena je mreža sa različitim brojem ćelija (najmanji broj ćelija je 10000 a najveći 400000). Na slici 3.1 prikazane su vrednosti Nuseltovog broja Nu dobijenog simulacijama u zavisnosti od bezdimenzionog rastojanja x/D i primenom Šahove jednačine.

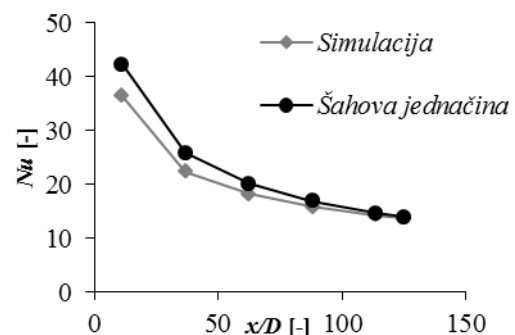


Slika 3.1 Nezavisna mrežna analiza

Primećeno je da mreža od 400000 ćelija ne daje znatno bolje rezultate od mreže sa 200000 ćelija, a vreme trajanja simulacije je znatno duže. Iz tog razloga odlučeno je da se u daljem radu koristi zapreminska mreža od 200000 ćelija.

3.3 Nuseltov Broj

Na slici 3.2 prikazano je poređenje vrednosti Nuseltovog broja Nu za nanojonsku tečnost dobijenih računarskom dinamikom fluida i Nuseltovog broja dobijenog uz pomoć Šahovog izraza u zavisnosti od bezdimenzionog rastojanja x/D .



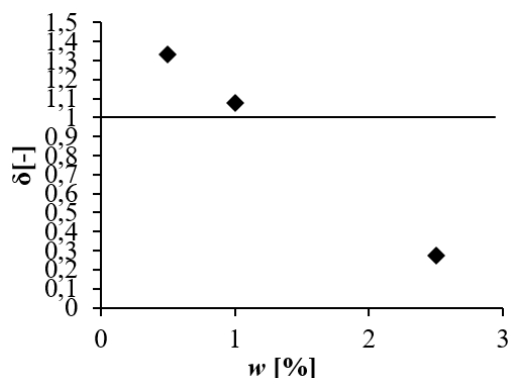
Slika 3.2 Zavisnost Nuseltovog broja Nu i bezdimenzionog rastojanja x/D

Sa slike 3.2 može se zaključiti da su rezultati veoma bliski.

Takođe, kako se termički granični sloj razvija, razlika između rezultata postaje sve manja.

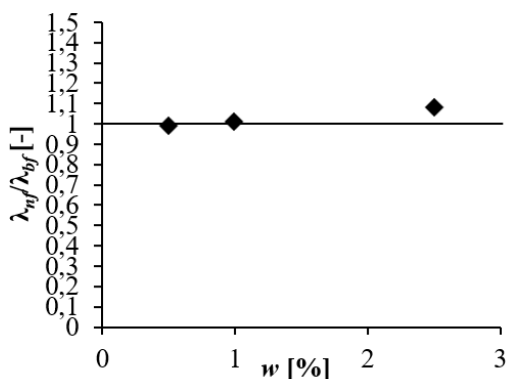
3.4 Rezultati primene kriterijuma za predmetnu nanojonsku tečnost

Na slici 3.3 može se uočiti da predmetna nanojonska tečnost zadovoljava prvi kriterijum jedino za temperaturu tečnosti na ulazu od $T=335$ K i to u slučaju kada je masena koncentracija nanočestica niža od 2,5%, odnosno, za masene koncentracije od 0,5% i od 1%.



Slika 3.3 Rezultati primene prvog kriterijuma pri temperaturi tečnosti od $T=335$ K i Reynoldsovom broju od $Re=512$

Predmetna nanojonska tečnost ne ispunjava drugi kriterijum samo pri temperature tečnosti na ulazu od $T=293$ K i masenoj koncentraciji nanočestica od $w=0,5\%$. Kriterijum je ispunjen za sve ostale razmatrane temperature i masene koncentracije nanočestica, slika 3.4.



Slika 3.4 Rezultati primene drugog kriterijuma pri temperaturi $T=293$ K

Rezultati primene trećeg kriterijuma prikazani su u tabeli 3.1

Tabela 3.1 Rezultati primene trećeg kriterijuma

T [K]	w [%]	$\lambda_{nf}/\lambda_{bf}$ [-]	$(\eta_{nf}/\eta_{bf})^{1/3}$ [-]
293	0,5	0,98577	1,01978
	1,0	1,00843	1,05089
	2,5	1,07843	1,43557
303	0,5	1,03038	1,02327
	1,0	1,04510	1,07048
	2,5	1,07941	1,48093
335	0,5	1,04874	0,97027
	1,0	1,06456	1,02040
	2,5	1,10616	1,41467

Iz Tabele 3.1 može se uočiti da predmetni nanofluid zadovoljava treći kriterijum pri masenim koncentracijama od 0,5% i 1% i pri temperature tečnosti na ulazu od $T=335$ K.

4. ZAKLJUČAK

Nuseltov broj Nu koji je izračunat uz pomoć podataka dobijenih simulacijama i Nuseltov broj Nu dobijen uz pomoć Šahove jednačine odstupa maksimalno 30% na početku cevi kada je termički granični sloj nerazvijen, kako se granični sloj razvija ova odstupanja postaju sve manja da bi na kraju cevi odstupanja bila nekoliko procenata. Korišćenjem kriterijuma za potvrdu opravdanosti primene nanojonskih tečnosti u sistemima za prenos toplote, došlo se do zaključka da korišćena nanojonska tečnost ispunjava prvi kriterijum, i treći kriterijum i to za vrednosti masene koncentracije nanočestica od 0,5% i 1% i inicijalnu ulaznu temperaturu od 335 K.

Drugi kriterijum nije ispunjen samo za nanojonsku tečnost koja ima masenu koncentraciju nanočestica 0,5% i inicijalnu ulaznu temperaturu od 293 K. Na osnovu poklapanja rezultata prvog i trećeg kriterijuma, zaključeno je da predmetnu nanojonsku tečnost ima smisla koristiti u sistemima za prenos toplote ukoliko je koncentracija nanojonskih tečnosti 0,5% i 1% a inicijalna ulazna temperatura 335 K. Nanojonske tečnosti su i dalje u razvoju i još uvek je njihova cena visoka.

U ovom radu se može videti da predmetnu nanojonsku tečnost sa tehničkog aspekta ima smisla koristiti u komercijalne svrhe. Neki uređaji poput izmenjivača toplote rade na temperaturama višim od 500 K, iz razloga nedostatka eksperimentalnih termofizičkih podataka za ovu tečnost pri visokim temperaturama, dalja istraživanja treba fokusirati na prikupljanju eksperimentalnih podataka pri temperaturama višim od 370 K.

5. LITERATURA

- [1] Briefing, U. S., "International Energy Outlook 2013.", DOE/EIA-0484, 2013.
- [2] Paul, T. C., "Investigation of Thermal Performance of Nanoparticle Enhanced Ionic Liquids (NEILs) for Solar Collector Applications" (Doctoral dissertation), 2014.
- [3] Bukurov M., „Mehanika fluida - knjiga prva: osnove“, FTN Novi Sad, 2013.

Kratka biografija:



Nikola Drobac rođen je u Novom Sadu 1992. god. Osnovne studije iz oblasti Mašinstva završio je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2017 god. Master rad iz oblasti Mašinstva odbranio je na istom fakultetu 2020 god. kontakt: drobac92@gmail.com

GLAVNA MERNO REGULACIONA STANICA "RUMENKA" I SIMULACIJA STRUJANJA GASA KROZ SIGURNOSNI VENTIL**MAIN MEASURING AND CONTROL STATION "RUMENKA" AND SIMULATION OF GAS FLOW THROUGH THE SAFETY VALVE**

Mladen Đurić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazana je priprema i transport prirodnog gasa koji se koristi u Glavnoj merno regulacionoj stanici "Rumenka". Izabrani su elementi i oprema na osnovu proračuna. Prikazana je simulacija sigurnosnog ventila koji se koristi u "GMRS", te su dobijeni rezultati simulacije prikazani numerički i analitički.

Ključne reči: Sigurnosni ventil, Prirodni gas, "GMRS"

Abstract – This paper presents the preparation and transport of natural gas used in the Main Measurement and Regulation Station "Rumenka". Elements and equipment were selected based on the budget. The simulation of the safety valve used in "GMRS" is presented, and the obtained simulation results are presented numerically and analytically.

Keywords: Safetyvalve, natural gas, "GMRS"

1. UVOD

Pre transporta prirodnog gasa, vrši se njegova priprema a zatim transport magistralnim cevovodom do Glavne merno regulacione stanice. Tu se pritisak spušta na predviđene vrednosti.

Kao zaštita od previsokih pritisaka koristi se sigurnosni ventil. On ispušta određenu količinu gasa dok se pritisak ne spusti na prvobitnu vrednost, odnosno funkcioniše na principu zavisnosti protoka od pritiska.

Minimalna količina gasa koja se ispusti kroz njega iznosi od 1 do 10 % vrednosti protoka kroz regulator.

2. ZADATAK RADA

Zadatak rada jeste izbor i provera već usvojene opreme za glavnu merno regulacionu stanicu "Rumenka". Tome prethodi teorijski opis prirodnog gasa i njegovog transporta i načina pripreme prije transporta magistralnim cevovodom.

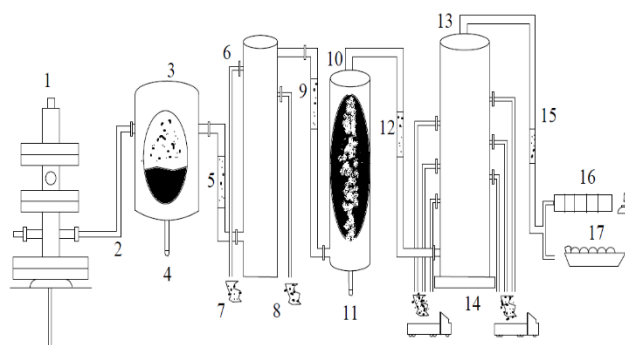
Takođe treba izvršiti simulaciju usvojenog sigurnosnog ventila. Simulira se zavisnost masenog protoka prirodnog gasa (metana) i razlike pritisaka u ventilu. Dobijeni numerički rezultati pored se sa analitičkim i prikazuju se na dijagramu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Maša Bukurov, red. prof.

3. PRIPREMA I OPREMA ZA PRIPREMU PRIRODNOG GASA

Oprema za pripremu prirodnog gasa prikazana je na slici 1. sa delovima:



Slika 1. Oprema za pripremu prirodnog gasa [1]

(1-Bušotinska glava; 2-Cevovod sirovog prirodnog gasa; 3-Separator tečne faze; 4-Odvojena voda i kondezat; 5-Delimično prečišćen gas; 6-Separator kiselih gasova; 7-Odvojeni H_2S ; 8-Odvojeni CO_2 ; 9-Značajno prečišćen gas; 10-Dehidrator gasa; 11-Odvojena voda; 12-Značajno pripremljen gas; 13-Frikciona kolona; 14-Odvojeni etan, propan, butan; 15-Pripremljen prirodni gas; 16-Magistralni gasovod; 17-Transport TPG (LNG))

Uobičajeni procesi za uklanjanje različitih primesa su [2]:

- Odvajanje tečnosti od prirodnog gasa,
- Uklanjanje sumpora i ugljen dioksida (kiselih gasova),
- Dehidracija prirodnog gasa,
- Degazolizacija (frakcionisanje).

4. TEHNIČKI OPIS GMRS „RUMENKA“

Glavna merno regulaciona stanica služi da kod većih potrošača gasa pritisak magistralnog gasovoda koji može biti i 50 bar redukuje na radni pritisak potrošača od 6 bar i da meri potrošenu količinu gasa. U oblasti široke potrošnje gas se mora odorizovati, pa se u sistem postavlja i uređaj za odorizaciju gasa [3].

Projekat obuhvata glavnu merno regulacionu stanicu „Rumenka“ i kotlarnicu koja se nalazi unutar zajedničke ograde.

Osnovne karakteristike glavno-merno regulacione stanice:

- Pritisak gasa na ulazu:
 $p_{ul} = (18 \div 50)$ bar (man),
- Pritisak gasa na izlazu:
 $p_{iz} = (8 \div 12)$ bar (man),

- Maksimalni protok gasa:
 $Q_{smax} = 14200 \text{ Sm}^3/\text{h}$,
- Minimalni protok gasa:
 $Q_{smin} = 300 \text{ Sm}^3/\text{h}$.

Za snižavanje i regulacija pritiska gasa predviđene su dve identične linije (radna i rezervna) koje se sastoje od:

- Sigurnosnog blok ventila,
- Regulatora pritiska,
- Sigurnosnog ventila
- Zapornog organa.

5. PRORAČUN OSNOVNIH VELIČINA GMRS „RUMENKA“

Proračunate veličine za GMRS prikazane su u sledećoj tabeli:

Tabela 1. Rezultati proračuna

Svojstva gasa	Brojna vrednost	Jedinica
Molekulska masa	16,63	kg/kmol
Gustina gasa pri normalnim uslovima	0,74	kg/m ³
Gustina gasa pri standardnim uslovima	0,71	kg/m ³
Relativna gustina gasa	0,58	—
Kritični apsolutni pritisak	46,61	bar
Kritična temperatura gasa	192,79	K
Kritična gustina gasa	165,72	kg/kmol
Specifična toplota gasa pri normalnim uslovima	2,21	kJ/kgK
Koeficijent toplotne provodljivosti gasa pri normalnim uslovima	0,030	W/mK
Donja toplotna moć gasa pri standardnim uslovima	34062,8	kJ/m ³
Dinamička viskoznost gasa	10,38	10 ⁻⁶ Pas
Kinematska viskoznost gasa	13,95	10 ⁻⁶ m ² /s
Koeficijent adijabate	1,30	—

6. IZBOR I PROVERA OPREME ZA GMRS „RUMENKA“

Izvršena je provera i izmena usvojene sledeće opreme:

1. Fini filter za gas:
 - Tip: Fini filter za gas 1020
 - Proizvođač: "Energo sistem" Novi Sad, Republika Srbija.
2. Zagejač gasa:
 - Tip: 421-V-200-1/18,
 - Proizvođač: "GasTeh" Indija, Republika Srbija.
3. Sigurnosni blok ventil na vodenoj strain zagrejača za gas:
 - Tip: RMG 790 K1/F2,
 - Proizvođač: "RMG", Republika Nemačka.
4. Sigurnosni blok ventil:

Na osnovu pritiska otvaranja $P_{otv} = P_{iz} \cdot 1,15 = 9,2 \text{ bar}$, pritisak blockade iznosi $P_{bl} = 10,12 \text{ bar}$, što je veće za 10 % od pritiska otvaranja.

- Tip: 234-BV,

- Proizvođač: "GasTeh" Indija, Republika Srbija.
5. Regulator pritiska:
 - Tip: 139 - BV,
 - Proizvođač: "GasTeh" Indija, Republika Srbija.
 6. Sigurnosni ventil:
 - Tip: 530-25/2,
 - Proizvođač: "Energo sistem" Novi Sad, Republika Srbija.
 7. Turbinsko merilo protoka:
 - Tip: Turbinsko merilo, SM-RI-X,
 - Proizvođač: "Elster Instrument".
 8. Merilo protoka sa rotacionim klipovima:
 - Tip: Turbinsko merilo, SM-RI-X,
 - Proizvođač: "Elster Instrument".
 9. Regulator protoka.

7. IZBOR I PROVERA OPREME ZA KOTLARNICU GMRS "RUMENKA"

Izvršena je provera i izmena sledeće opreme:

1. Toplovodni kotao:
 - Tip: eco TEC plus VU INT 806/5-5 1206/5-5,
 - Proizvođač: "VAILLANT", Republika Nemačka.
2. Regulator pritiska sa sigurnosnim blok ventilom i sigurnosnim ispusnim ventilom
 - Tip: RMG-300,
 - Proizvođač: "RMG", Republika Nemačka.
3. Dimnjak

Na osnovu proračunskih parametara [4]:

- Koeficijent viška vazduha: $\alpha = 1,15$,
- Minimalna količina vazduha potrebna za sagorevanje: $V_{(vaz)min} = 9,52 \text{ m}_n^3/\text{m}_n^3$,

usvaja se dimnjak Ø200 mm radne visine 5 m

4. Ekspanzioni sud:
 - Tip: ER 18 CE,
 - Proizvođač: "ETAŽ" Beograd, Republika Srbija.
5. Razdelnik i sabirnik tople vode:

Usvaja se prečnik razdelnika Ø80,9 × 3,2 mm i dužina 2000 mm.

6. Termoregulacioni ventil
7. Cirkulaciona pumpa:
 - Tip: Cirkulaciona pumpa 1CVR,
 - Proizvođač: "Sever" Subotica, Republika Srbija
8. Ventilacija kotlarnice:

Minimalna efektivna površina dovodnog otvora za ventilaciju [4]:

$$A_d = 5,8 \cdot P_k = 5,8 \cdot 182 = 1055,6 \text{ cm}^2 \quad (1)$$

Minimalna efektivna površina odvodnog otvora za ventilaciju kotlarnice [4]:

$$A_o = \frac{1}{3} \cdot A_d = \frac{1}{3} \cdot 1055,6 = 351,87 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

8. SIMULACIJA STRUJANJA GASA KROZ SIGURNOSNI VENTIL

Simulacija je izvršena za usvojeni sigurnosni ventil:

- Tip: 530 - 25/2,
- Proizvođač: "Energo sistem" Novi Sad, Republika Srbija.

Simulacija je urađena za tri vrednosti protoka odnosno brzine kroz sigurnosni ventil u zavisnosti od tri položaja diska:

- 15 % otvoren ventil,
- 30 % otvoren ventili,
- 50% otvoren ventil.

Razmatramo tri vrednosti protoka kroz ventil za tri navedena položaja diska:

1. 10 % vrednosti regulatora pritiska:

$$Q_{sv} = 0,1 \cdot Q_{reg} \quad (3)$$

$$Q_{sv} = 0,1 \cdot 1023,2 = 102,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. 5 % vrednosti regulatora pritiska:

$$Q_{sv} = 0,05 \cdot Q_{reg} \quad (4)$$

$$Q_{sv} = 0,05 \cdot 1023,2 = 51,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

3. 1 % vrednosti regulatora pritiska:

$$Q_{sv} = 0,01 \cdot Q_{reg} \quad (5)$$

$$Q_{sv} = 0,01 \cdot 1023,2 = 10,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Brzina kroz sigurnosni ventil za računa se preko izraza:

$$w = \frac{4 \cdot Q_v}{D^2 \cdot \pi \cdot 3600} \quad (6)$$

i iznosi:

1. $w = 22,6 \text{ m/s}$,
2. $w = 11,31 \text{ m/s}$,
3. $w = 2,3 \text{ m/s}$,

Zavisnost masenog protoka i pada pritiska u sigurnosnom ventilu se aproksimira na osnovu formule [5]:

$$\dot{m} = C_0 \cdot A_0 \cdot Y \sqrt{\frac{p_1 \cdot \rho_1}{1 - \beta^4} \left[2 \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right) \right]^{1/2}}, \quad (7)$$

Gde su:

- C_0 - koeficijent otvora,
- A_0 - otvor sedišta diska (m),
- $\beta = \frac{d}{D}$ odnos prečnika otvora sedišta diska i prečnika cevi ventila,
- Y - ekspanzioni faktor (—),
- p_1 - ulazni pritisak (bar),
- p_2 - pritisak iza sedišta diska (bar).

Ekspanzioni faktor Y računa se na osnovu sledeće formule [5]:

$$Y = 1 - \frac{\Delta p}{\kappa p_1} (0,41 + 0,35 \cdot \beta^4) \quad (8)$$

Gde su:

- Δp - razlika pritiska p_1 i p_2 (bar),
- κ - koeficijent adijabate (—).

9. NUMERIČKA ANALIZA

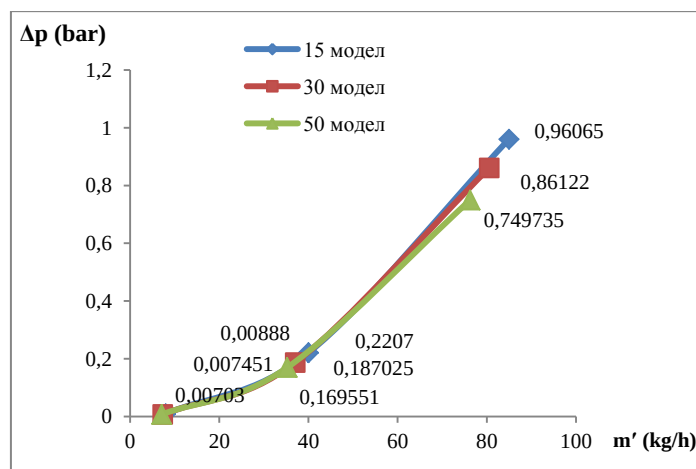
Numerička analiza svodi se na analizu simulacije struje gasa kroz sigurnosni ventil.

Iz simulacije očitavaju se rezultati pritiska p_1 i p_2 čije vrednosti se ubacuju u izraz za maseni protok prikazan jednačinom (7). Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati mernog protoka za različit položaj ventila

15 % Otvoren ventil					
Brzina	Vrednost	Jed.	Maseni protok	Vrednost	Jed.
w	22,6	m/s	$\dot{m}$	84,9680	
	11,3			40,0217	
	2,3			8	
30% Otvoren ventil					
w	22,6	m/s	$\dot{m}$	80,5257	
	11,4			37,0413	
	2,3			7,317	
50% Otvoren ventil					
w	22,6	m/s	$\dot{m}$	76,264	
	11,3			35,243	
	2,3			7,11	

Na sledećoj slici prikazan je dijagram zavisnosti masenog protoka i razlike pritiska u sigurnosnom ventilu za sva tri položaja ventila.



Slika 2. Numerički dobijena zavisnost masenog protoka i razlike pritiska za sva tri položaja ventila

Sa slike 2. vidi se da sa porastom masenog protoka raste i razlika pritiska.

Ta promena je manje izražena kod slučaja kada je ventil otvoren 50 %.

10. ANALITIČKA ANALIZA

Analitička analiza se svodi na proračun jednačina datih u sledećoj tabeli:

Tabela 3. Jednačine za analitičku analizu [6]:

Fizička veličina	Oznaka	Jednačina	Jed.
Sp. gasna konstanta metana	R	$R = \frac{R_u}{M}$	J/kgK
Gustina	ρ	$\rho = \kappa \cdot \frac{p}{RT}$	kg/m ³
Brzina zvuka	c	$c = \sqrt{\kappa \cdot \frac{p}{\rho}}$	m/s
Mahov broj	M	$Ma = \frac{w}{c}$	–
Totalni pritisak	p_t	$p_t = p_1 \cdot \left[1 + \frac{\kappa - 1}{2} \cdot M_1^2 \right]^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$	
Pritisak iza sedišta diska	p_2	$p_2 = \frac{p_t}{\left[1 + \frac{\kappa + 1}{1} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}}$	
Razlika pritisaka	Δp	$\Delta p = p_1 - p_2$	

Na osnovu jednačine kontinuiteta:

$$\rho_1 \cdot w_1 \cdot A_1 = w_2 \cdot \rho_2 \cdot A_2, \quad (9)$$

računa se maseni protok:

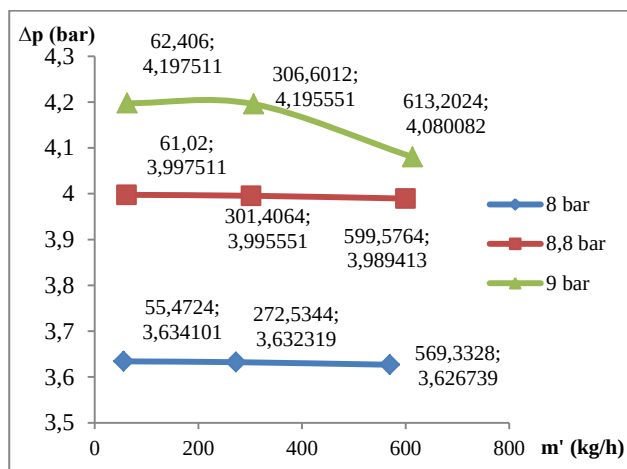
$$\dot{m} = \rho \cdot w \cdot A. \quad (10)$$

Proračun se izvodi za tri različita pritiska:

- $p_1 = 8$ bar,
- $p_1 = 8,8$ bar,
- $p_1 = 9$ bar,

U analitičkom proračunu se usled različitog protoka kroz sigurnosni ventil menjaju tri brzine dobijene u izrazima (6).

Na slici 3. prikazana je zavisnost masenog protoka i razlike pritisaka u sigurnosnom ventilu



Slika 3. Analitički dobijena zavisnost masenog protoka i razlike pritisaka za sva tri položaja ventila

Sa slike 3. vidi se da sa porastom masenog protoka opada razlika pritisaka usled porasta pritiska p_2 . Pri većim pritiscima sa porastom protoka razlika više opada

12. ZAKLJUČAK

U master radu izvršen je izbor opreme i provera iste na za GMRS "Rumenka" osnovu prikazanog proračuna, Izabran je sigurnosni ventil nad kojim je urađen eksperiment pomoću programskog paketa STAR CCM.

Simulacija prikazuje količinu gasa koja istekne u atmosferu u zavisnosti od pritiska u ventilu. Sa porastom masenog protoka raste i razlika pritisaka. Ta promena je više izražena u slučaju ventila otvorenog za 50% nego kod ventila otvorenog 15 %, Razlog tome su veće vrednosti pritiskau slučaju manje otvorenog ventila,

Analitička analiza izvršena je na osnovu zavisnosti izraza za maseni protok (7) i pritiska p_1 i p_2 . Iz analitičkih rezultata vidi se da sa porastom masenog protoka razlika pritisaka opada. Pritisak p_1 je konstantan dok pritisak p_2 raste, što je i razlog samnjenja razlike pritisaka.

13. LITERATURA

- [1] Prof. dr. Dušan Uzelac; Novi Sad, FTN izdavaštvo 2019. „Gasovodi“, ISBN 978-86-6022-176-8.
- [2] NaturalGas.org. [online]. Available at: <http://naturalgas.org/-naturalgas/processing-ng/>. [Accessed: 21.3.2020].
- [3] Branka Bogner, Dario Bogner, Izdavač -ETA, Milana Rakića 4. 11000 Beograd; „Priručnik za gasnu tehniku“ „Gas Teh“ Indija, Republika Srbija.
- [4] Vladimir Strelec i suradnici; Energerika marketing,Zagreb; „Plinarski priručnik“, 5. izdanje,
- [5] Ron Darby; “Chemical Engineering Fluid Mechanics”, Second Edition, Revised and Expanded;
- [6] „Energetske mašine“, Poglavlje 2: „Termodinamičke osnove toplotnih turbomašina“ Available at: https://www.researchgate.net/profile/Zdravko_Milovanovic/publication/272075118_Poglavlje_2_TERMODINAMICKE_OSNOVE_TOPLITNIH_TURBOMASINA/links/54d9de0e0cf2970e4e7cfab5/Poglavlje-2-TERMODINAMICKE-OSNOVE-TOPLITNIH-TURBOMASINA.pdf

Kratka biografija:



Mladen Đurić rođen je 29.07. 1996. god. u Doboju, Republika Srpska, BiH. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka na temu glavna merno regulaciona stanica „Rumenka“ i simulacija struje gasa kroz sigurnosni ventil odbranio je 2020- te god.

MODELOVANJE PROIZVODNOG SISTEMA PRIMJENOM SIMULACIJA**MODELING OF THE PRODUCTION SYSTEM BY APPLICATION OF SIMULATION**Nenad Tomić, Sanja Bojić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Rad se bavi modelovanjem novog proizvodnog postrojenja kompanije Bioelements. U radu je primjenom simulacija, analiziran trenutni proces proizvodnje kompanije, uočena su uska grla i predložene promjene za proširenje kapaciteta u budućnosti. Simulacije su izvršene u simulacionom programu Tecnomatix.

Ključne reči: simulacije, proizvodni sistemi, tokovi materijala

Abstract – This paper deals with the modeling of a new production plant of the company Bioelements. By application of simulations, the current production process of the company is analyzed, the production bottlenecks are detected and suggestions for the increase of the production capacity in the future are given. The simulations were performed in the Tecnomatix simulation software.

Keywords: simulation, production systems, material flow

1. UVOD

Definicija logistike, koja je postala učestala u modernom svijetu glasi: težnja ka uređenju bilo kog sistema, definisanje pravila ponašanja sistema i podsistema, tehnike i ljudi da bi se postigao veći stepen efikasnosti, dakle sa minimalnim potrebnim trudom i ulaganjima traži se maksimalni učinak. [1]

Osnovni cilj logistike je organizacija i optimizacija toka materijala i informacija od proizvođača do potrošača. Dakle optimizacija nabavke, proizvodnje i distribucije, što neminovno nameće pitanje usaglašenog i kooperativnog transporta i skladištenja.

Sa razvojem tehnologije i sve veće konkurencije na tržištu dolazi do potrebe za analizom i optimizacijom cjelokupnog toka roba. Zadovoljstvo kupca se stavlja na prvo mjesto, logistika dobija ogroman značaj, i kao takva od nje se zahtjeva da željeni proizvod bude odgovarajućeg kvaliteta, na pravom mjestu, dostavljen u pravo vrijeme i po što nižoj cijeni. Da bi se to omogućilo potrebno je da tokovi materijala budu neprekidni i fleksibilni, sa minimalno mogućim zalihama.

Osnovni podsystemi logistike su:

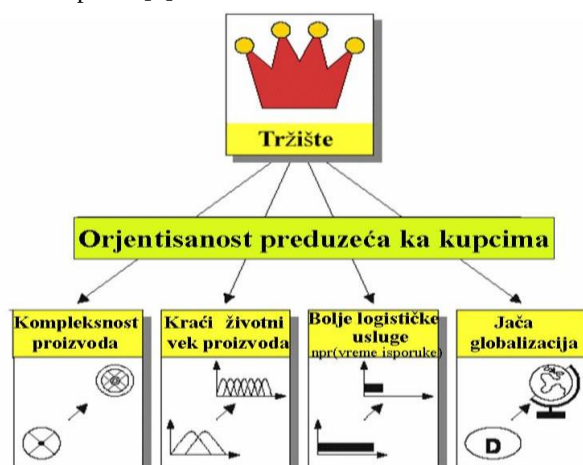
- transportna logistika;

- skladišna logistika;
- logistika nabavke i distribucije;
- proizvodna logistika;
- logistika otpadnih materijala.

1.1 Proizvodna logistika

Ukoliko pretpostavimo da postoji logistika poslovanja na tržištu, postojeće porudžbine i ugovori za proizvodnju opreme, dijelova i sklopova, mašina, što će dovesti do organizovanja proizvodnje, a proizvodni procesi se zasnivaju na tokovima materijala kome se uz učešće rada mašina i ljudi uz potrošnju energije mijenjaju svojstva, to dovodi do upotrebne vrijednosti koja zadovoljava potrebe kupca. Tokom ovih procesa uloženi kapital se vraća tek prodajom proizvoda kupcu [1].

Proizvodi kao i sama proizvodnja, danas imaju mnogo teži zadatak nego prije par decenija kada su bili u povlaštenom položaju u odnosu na kupce, razlog tome je taj što konkurencija nije bila velika te varijacije proizvoda su bile minimalne. U današnje vrijeme kupac je taj koji diktira tržište u odnosu na svoje potrebe. Na slici 1. je prikazan uticaj tržišta na proizvode. Proizvodi moraju dostizati svoj maksimum, a ujedno se i svakodnevno usavršavati. Zbog velike konkurencije, sam životni vijek proizvoda se smanjio sa nekadašnjih deset godina na trenutnih pet godina i konstantno se smanjuje. Kroz poboljšanja i optimizacije u logistici moraju se tražiti rešenja koja vode ka kraćim vremenima isporuke i bržem obrtu kapitala [1].



Slika 1. Uticaj tržišta [1]

Kako bi neka proizvodnja bila optimalna, potrebno je da bude dobro isplanirana, dobro usklađena na svim logističkim procesima nabavke, obrade, skladištenja i distribucije gotovih proizvoda. Kako bi se izvršila optimizacija

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Sanja Bojić, vanr. prof.

cijelog procesa, veoma je bitno unaprijed izvršiti planiranje sistema, kako bi se izbjegle mnoge poteškoće.

1.2 Ključni indikatori performansi procesa (KPI)

Ključni indikatori uspješnosti pokazuju mjeru uspješnosti (ili neuspješnosti) organizacije prilikom dostizanja njenih domena i ciljeva. Uspjeh bilo kog logističkog sistema usmjerenog na performanse zavisi od izbora odgovarajućih KPI-ova. Ukoliko dođe do izbora pogrešnih KPI-ova, to može dovesti do neoptimalnih rezultata. Dakle KPI su jedan od mehanizama mjerenja ostarenja ciljeva organizacije [3].

Većina indikatora KPI se odnosi na:

- efektivnost: karakteristika procesa koja ukazuje na stepen u kome se izlaz procesa poklapa sa zahtevima (da li radimo prave stvari?);
- efikasnost: karakteristika procesa koja ukazuje na stepen u kome proces pruža zahtevani izlaz sa minimalnim troškovima resursa (da li dobro radimo stvari?);
- briga o korisniku: stepen u kome korisnici/klijenti procesa cijene pružene performanse [4].

2. PRIMJENA SIMULACIJA ZA MODELOVANJE I OPTIMIZACIJU PROIZVODNIH PROCESA

Nekada jedini alat inženjerima za provjeru njihovih ideja i proizvoda bila je fizička predstava toga kako to funkcioniše u stvarnosti.

U današnje vrijeme, jedan od alata koji su najznačajniji inženjerima koji je nastao sa razvojem tehnike i tehnologije, su simulacije. Tradicionalne metode zamijenjene su kompjuterskim programima koji su sposobni da predvide ponašanje neke konstrukcije pri različitim uslovima opterećenja. Na ovaj način skupi eksperimenti su zamijenjeni znatno jeftinijim i moćnijim kompjuterskim metodama, koje ne zahtijevaju uništenje konstrukcije kako bi se odredile njene osobine. Simulacije predstavljaju vjernu imitaciju realnih dešavanja kroz vrijeme.

Ponašanje realnog sistema i njegovih problema kroz vrijeme utvrđuje se kroz simulacioni model. Simulacioni model je sačinjen od skupa pretpostavki i mnogih pojednostavljenja koji oslikavaju željeni problem.

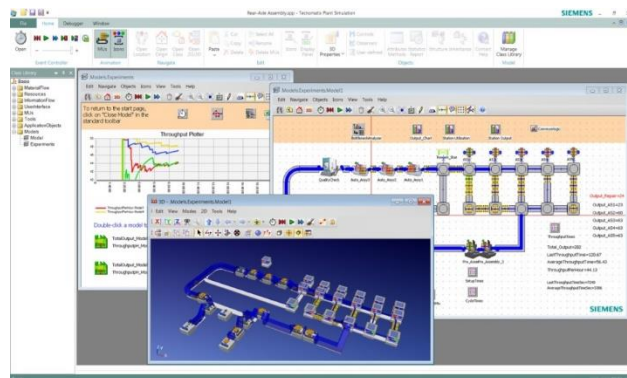
2.1 Simulacioni softver Tecnomatix

Tecnomatix plant simulation predstavlja softverski paket koji ima mogućnost rješavanja spoljašnjeg problema koji se pred njega stavi. Softver Tecnomatix Plant Simulation omogućava simulaciju, vizuelizaciju, analizu i optimizaciju proizvodnih sistema i logističkih procesa.

2.2 Opis i razvoj modela

DOO Bioelements je firma koja se bavi projektovanjem i proizvodnjom mašina za poljoprivredu i šumarstvo, osnovana je 2014. godine. Ključni proizvod firme je mašina za sitnjenje biljnih ostataka – Gladiator, koja se proizvodi serijski, 4 do 5 komada mesečno.

Postoji potreba za povećanjem proizvodnih kapaciteta zbog kojih se firma seli u veću proizvodnu halu.



Slika 2. Tecnomatix plant simulation [2]

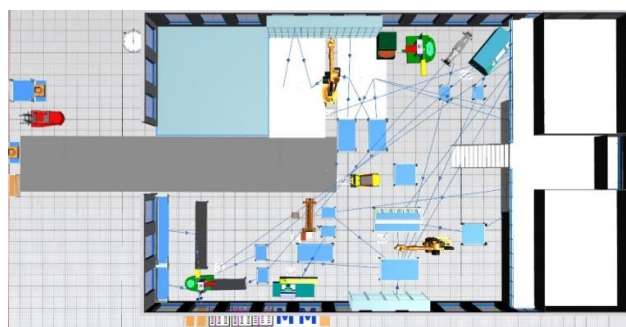
U ovom radu, izvršena je simulacija rada proizvodnog sistema, na osnovu postojećih proizvodnih procesa, ali u novoj proizvodnoj hali, sa ciljem da se utvrdi stepen iskorišćenja postojećih kapaciteta, kako bi se uočila eventualna uska grla i ispitale mogućnosti povećanja kapaciteta.

Prvi simulacioni model predstavlja trenutni proces proizvodnje jednog postrojenja, a drugi simulacioni model predstavlja budući proces proizvodnje sa većim kapacitetom.

Za proizvodnju mašine potreban je veliki broj različitih dijelova, neki od njih dolaze kao poluproizvodi, dok dio dijelova dolazi već spreman za ugradnju. Osnovni poluproizvodi su cijevi, šipke i ploče koji dolaze u različitim dimenzijama, i u različitim vremenskim intervalima. Potrebni su određeni gotovi dijelovi; diskovi, ležajevi, zavrtnjevi, gume i drugi, kao i potrošni materijal.

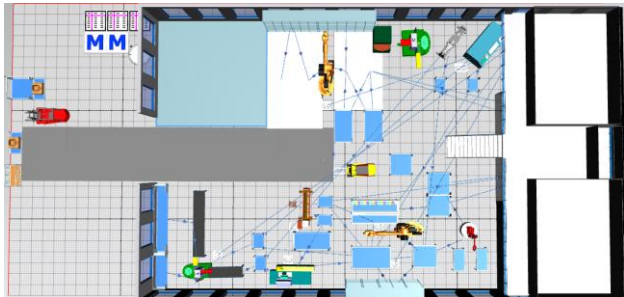
Po dolasku poluproizvoda vrši se njihova obrada, odnosno sječenje, a mali dio se šalje na dodatnu obradu. Svaki od poluproizvoda ima različita procesna vremena. Sledeći postupak je privarivanje i zavarivanje dijelova. Kako bi se mogli zavareni dijelovi ofarbati, potrebno je izvršiti njihovo čišćenje. Ofarbani i osušeni dijelovi se sklapaju, i dodaju svi potrebni gotovi proizvodi koji su se u međuvremenu skladištili u regale. Sklapanje predstavlja proces koji zahtijeva najviše vremena, a razlog tome je veliki broj dijelova. Trenutni kapacitet proizvodnje je četiri mašine mjesečno.

U prvom simulacionom modelu, slika 3, materijal dolazi u vremenskom intervalu od 30 sati. Postoji samo jedan sto za privarivanje i jedan sto za zavarivanje. Ovo verno odslkava trenutni način proizvodnje.



Slika 3. Prvi simulacioni model [2]

U drugom simulacionom modelu, slika 4, dolazak materijala je određen na svakih 15 sati. U budućem stanju je u planu da budu dva mjesta za privarivanje, takođe se planira dodatni robot koji će vršiti proces zavarivanja zajedno sa čovjekom koji se nalazi za prvim stolom.



Slika 4. Drugi simulacioni model [2]

2.3 Rezultati simulacija

Ispitivanje je rađeno za vremenski period od 160 sati. U prvom simulacionom modelu su napravljene četiri mašine, dok je u drugom modelu uspješno napravljeno osam mašina, dok je deveta bila u procesu sklapanja.

Na osnovu rezultata dobijenih simulacionim modelima, mogu se izračunati indikatori koji pokazuju koliko vremena je potrebno da izađe jedan proizvod, kao i vrijeme rada mašina koje učestvuju u procesu za proizvodnju jednog proizvoda. U tabeli 1. prikazani su uporedni rezultati za oba modela.

Tabela 1. Uporedni rezultati modela

	Model I	Model II
Prosječno vrijeme za pravljenje jedne mašine [h]	40	20
Vrijeme rada testere [%]	6,18	13,1
Vrijeme rada plazme [%]	18,8	38,78
Vrijeme rada apkant prese [%]	29,51	55,82
Vrijeme rada privarivanja 1 [%]	36,49	31,71
Vrijeme rada privarivanja 2 [%]	X	33,47
Vrijeme rada zavarivanja 1 [%]	37,87	35,38
Vrijeme rada zavarivanja 2 [%]	X	31,9
Vrijeme rada pjeskarenja [%]	59,58	97,3
Vrijeme rada farbanja [%]	64,34	98,1
Vrijeme rada sklapanja [%]	46,5	68,3

Rezultati pružaju mogućnost poređenja vremena rada mašina u toku proizvodnje, potrebno vrijeme za sklapanje jednog gotovog proizvoda.

Kada je u pitanju prvi simulacioni model, testera, plazma i apkant presa spadaju u pripremne operacije, njihova učinkovitost je velika, te samim tim iskorišćenost mala. Kada se uzme u obzir da proces privarivanja i zavarivanja vrši jedna osoba, iz rezultata se može primjetiti da je iskorišćenost veoma velika, pogotovo kada se uzme u obzir činjenica da proces privarivanja počinje tek kada se završe svi prethodni procesi. Proces pjeskarenja i farbanja ima zadovoljavajuću učinkovitost. Proces sklapanja predstavlja posljednju operaciju u sistemu, budući da je ovo proces koji najduže traje, rad na sklapanju iznosi skoro polovinu vremena proizvodnje cijele mašine.

U simulacionom modelu budućeg stanja, materijal dolazi češće, samim tim iskorišćenost pripremnih operacija je približno duplo veća. Kao što je i očekivano, iskorišćenost

procesa privarivanja i zavarivanja je ostala približno ista, a razlog tome je što u ovom simulacionom modelu imamo duplo više mjesta za obradu. Kada su u pitanju operacije pjeskarenja i farbanja, iskorišćenost im je maksimalna. Ovaj podatak pokazuje da ove dvije operacije predstavljaju usko grlo u budućem sistemu. Iskorišćenost procesa sklapanja je u normalnim granicama.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu korišćene su simulacije u cilju određivanja uskih grla u sistemu, proizvodnih kapaciteta budućeg postrojenja.

Simulacije su se ovom prilikom pokazale kao veoma koristan alat, koji je omogućio vjerodostojan prikaz trenutnog stanja, kao i budućeg planiranog stanja brzo, efikasno, bez potrebe da se sprovodi eksperiment ili analiza u realnom sistemu.

Dobijeni rezultati pokazuju da firma može udvostručiti svoje proizvodne kapacitete, ukoliko dodaju po jednu poziciju na operacijama privarivanja i zavarivanja. Za dalje povećanje kapaciteta potrebno je povećati kapacitete operacija pjeskarenje i farbanje, budući da su trenutno na maksimalnim iskorišćenjima.

Bitno je naglasiti da su dobijeni rezultati validni samo za uslove definisane u ovom radu i da bi se u daljim istraživanjima trebala posvetiti pažnja poređenju sa izmjenjenim ulaznim parametrima, kao što su promjenjeni intenzitet dolaska proizvoda, korištenje većeg broja mašina, smanjenje procesnih vremena itd.

4. LITERATURA

- [1] Milosav Georgijević: Tehnička logistika, FTN-skripta, Univerzitet u Novom Sadu, 2009.
- [2] Tecnomatix Plant Simulation Software
- [3] Turajlić, N., Nešković, S., & Vučković, M. (2009). Mesto mera performansi u modelima poslovnih procesa. INFOTEH-Jahorina, 8, 598-602.
- [4] Ivana Tomić: Doktorska disertacija, FTN, Univerzitet u Novom Sadu, 2017.

Kratka biografija:



Nenad Tomić je rođen u Brčkom (BiH) 1996. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Skladište i oprema – Planiranje i organizacija logističkog sistema odbranio je 2019. godine.
Kontakt: nenad.tmc96@gmail.com



Sanja Bojić rođena je u Karlovcu 1981. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2013. god., a od 2019 je u zvanju vanredni profesor. Oblasti istraživanja su logistika, skladišni sistemi i simulacije tokova materijala.

**STATIČKA MKE ANALIZA I ANALIZA OSCILOVANJA STUBA
VETROGENERATORA****STATIC FEA AND OSCILLATION ANALYSIS OF A WIND TURBINE TOWER**Stanko Golocorbin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Stubovi vetrogeneratora su jedni od najkompleksnije opterećenih stubova (tornjeva) koji postoje u građevini. Uzimajući u obzir da promenljiva priroda brzine vetra intenzivno menja opterećenje na stub u vidu ekscentričnog momenta. Cilj ovog istraživanja je dobijanje rezultata statičke MKE analize u vidu napona prema kojoj možemo, shodno najvećim naponima, promeniti dizajn samog modela stuba vetrogeneratora. Takođe istraživanjem oscilacija stuba i pronalaženjem sopstvenih kružnih frekvencija oscilovanja dobijamo zanje o brzini obrtaja rotora koju treba da ograničimo da stub ne bi mogao da uđe u rezonantni režim. U radu je prikazana primena metode konačnih elemenata (MKE) pri pronalaženju napona stuba pomoću ABAQUS – softvera i primena teorije oscilacija pri pronalaženju sopstvenih kružnih frekvencija i maksimalnih amplituda pomoću Mathematica – softvera, 3D model korišten za MKE analizu je izrađen u Solidworks – softveru.

Ključne reči: MKE, ABAQUS, Mathematica, teorija oscilacija, vetrogenerator.

Abstract – Wind turbine towers are one of the most complex loaded towers that exist in construction. Taking into account the ever changing nature of wind speeds, which intensly changes the load on the tower in terms of eccentric torque. The aim of this research is to find the results of the static FEM analysis in terms of stresses with which we can change the design of the wind turbine tower model. Also researching the oscillations of the tower and finding the natural frequencies we gain the knowledge of the angular velocity of the rotor which we have to restrict so that the tower doesn't go into resonance. The paper presents the application of finite element method to find the stresses in a wind turbine tower using ABAQUS – software and the application of theory of oscillation to find the natural frequencies and maximum amplitudes of oscillation using Mathematica – software, 3D model of the wind turbine was made using Solidworks – software.

Keywords: FEM, ABAQUS, Mathematica, theory of oscillation, wind turbine.

1. UVOD

Metoda konačnih elemenata (MKE) je numerička metoda i pripada grupi metoda tzv. diskretne analize.

NAPOMENA:

Ovaj rad je proistekao iz master rada čiji je mentor bio vanr. prof. dr Zvonko Rakarić.

Generalno gledano rezultat primene analitičkih metoda za rešavanje problema u mehanici je rešenje za klasu problema, često u obliku funkcija koje definišu polje tražene veličine (pomeranje, deformacija, napon, sila...). Dok se na drugu ruku MKE rešenje dobija za pojedinačne probleme, u ovom radu je to problem stuba vetrogeneratora.

MKE je zasnovana na fizičkoj diskretizaciji, tj. podeli sistema na elemente konačne veličine – konačne elemente (KE). Ideja o diskretizaciji (usitnjavanju, dekompoziciji, tj. zameni jednog kontinualnog sistema određenim brojem odgovarajućih podistema-elemenata) datira još iz vremena kada je počelo da se razmišlja o rešavanju složenih zadataka svodenjem na kombinaciju jednostavnijih i pojedinačno lako rešivih.

MKE metoda numeričke analize zasnovana na fizičkoj diskretizaciji, za razliku od većine numeričkih metoda koje se baziraju na matematičkoj aproksimaciji jednačina problema. Umesto elementa diferencijalno malih dimenzija, osnova svih razmatranja je element konačnih dimenzija, tj. konačni element. Jednačine za definisanje stanja neke statičke ili kinematičke veličine u okviru konačnog elementa, time implicitno i problema u celini, nisu diferencijalne ili integralne, već algebarske.

Iz aspekta fizičke diskretizacije, to je zamena realnog sistema, tj. kontinuuma diskretnim modelom sa "odgovarajućim" brojem KE "odgovarajućeg" oblika, tipa i rasporeda. Pojam "odgovarajući" ima poseban značaj u MKE analizi i analizi MKE rešenja, s obzirom na veliki broj prihvatljivih modela. Da bi se obezbedio „najbolji“ MKE model koji nije jednoznačno rešiv zadatak, potrebno je, pre svega, poznavanje prirode problema, poznavanje suštine MKE, kao i kreativni inženjerski pristup.

Veoma pojednostavljeni algoritam primene MKE u analizi konstrukcija može da ima sledeći oblik:

- Diskretizacija – podela realnog sistema na sistem KE koji se sastoji od određenog broja elemenata odgovarajućeg oblika,
- Izbor odgovarajućeg tipa KE u okviru odgovarajućeg oblika KE,
- Formiranje sistema jednačina za sistem KE,
- Rešavanje sistema jednačina,
- Proračun potrebnih veličina za KE i sistem u celini i
- Prikazivanje rešenja.

2. PRIMENA ABAQUS – MKE SOFTVERA PRI STATIČKOJ ANALIZI STUBA VETROGENERATORA

Analiza je rađena na stubu koji se sastoji od tri čelične cevi promenljivog prstenastog poprečnog preseka. Na sl. 2.1. dat je 3D model vetrogeneratora.



Slika 2.1. 3D model vetrogeneratora

2.1. Kratak pred-proračun opterećenja stuba vetrogeneratora

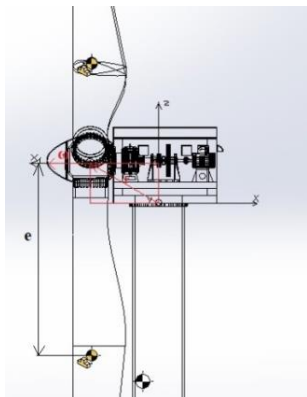
Na stub vetrogenerator deluje

1. Moment rotora,
2. Pritisak vetra i
3. Težinsko opterećenje gornjeg kućišta i unutrašnjih komponenti.

Moment rotora računat tako što se uoči se centrifugalna sila $F = M_e \omega^2$ individualnih lopatica koje su napravljene od vlakana stakla čija je masa $M_{e1} = M_{e2} = M_{e3} = M_e$. Rastojanje e tj. ekscentricitet centra mase lopatice od ose rotacije rotora jednako je za sve tri lopatice.

Ugaona brzina uzeta na osnovu eksperimentalno dobijene vrednosti broja obrtaja po minuti rotora (vrednost je uzeta iz [8]). Određivanje vektora položaja prikazano je na slici 2.2.

$$\omega = \frac{N \cdot 2\pi}{60} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (1)$$



Slika 2.2. Određivanje vektora položaja

$$\dot{L}_O = \vec{M}_O^F = \vec{r} \times \vec{F} [Nm] \quad (2)$$

Pritisak vetra dobijamo, uzimajući u obzir najveću moguću vrednost brzine vetra, preko sledeće formule (koeficijenti su uzeti iz [8]):

$$P_{\max} = C_e C_d Q_s I_w [Pa] \quad (3)$$

- C_e – je koeficijent izloženosti konstrukcije na vetar (0.6~1.2)
- C_d – je koeficijent otpora kretanja tela usled vetra (0.09~1.15)
- Q_s – je faktor stagnacije pritiska vetra i računa se prema sledećoj formuli:
 $Q_s = 0.613 v_{\max}^2$ (gde je $v_{\max} = 45 \text{ m/s}$)
- I_w – je faktor važnosti (odnosi se na to koliko je konstrukcija opterećena mašinski i od kojeg je materijala) (1~1.7)

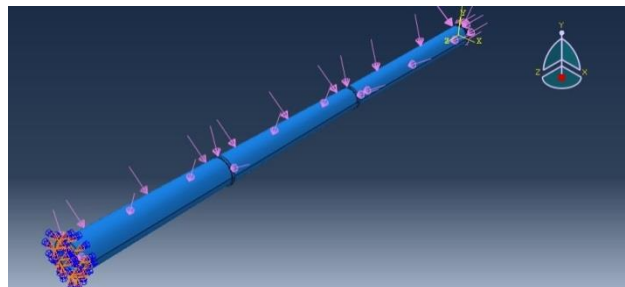
Težinsko opterećenje dobijamo preko softvera Solidworks merenjem masa kućišta i unutrašnjih komponenti kao što su, celokupan, generator, multiplikator, glavno vratilo sa ležajem, itd.

$$F_g = (\sum M) \cdot 9.8067 [N] \quad (4)$$

2.2. Rad unutar ABAQUS – MKE softvera

Prvo se modelu stuba „ubačenog“ u ABAQUS – MKE softver dodeljuju sledeća materijalna svojstva čelika, Youngov modul elastičnosti $E = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ i Poissonov modul bočne kontrakcije $\nu = 0.3$ i gustina $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$. Potom se dodeljuju granični uslovi stuba, koji odgovaraju graničnim uslovima grede ukleštene na jednom kraju dok je drugi kraj slobodan.

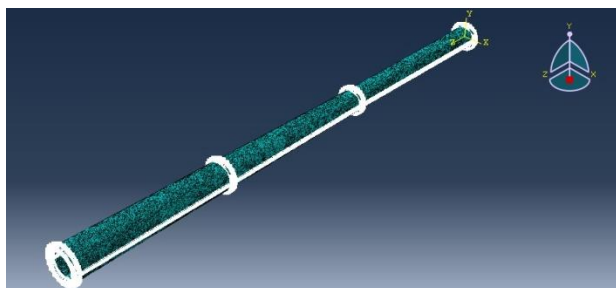
Korak opterećivanja stuba u kojem su nanešena opterećenja na MKE model stuba u vidu težinskog opterećenja kućišta sa lopaticama koje deluje na slobodan kraj stuba, kontinualnog opterećenja vetra koje deluje na bočnu stranu stuba i vektora momenta izmeštene centrifugalne sile lopatica rotora koji deluje u pravcu x-ose prikazan je na sl. 2.3.



Slika 2.3. Nanošenje opterećenja i dodeljivanja graničnih uslova 3D modelu stuba

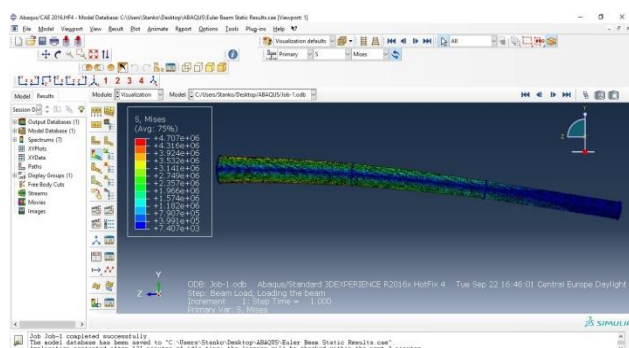
U sledećem koraku rađena je diskretizacija modela tzv. „Mešovanje“ modela koje je automatski optimizovano oko rupa za zavrtnjeve. Za tip konačnog elementa izabran je konačni element oblika tetraedra zbog jednostavnosti

računanja reakcija u čvorovima elemenata. Na sl. 2.4. prikazana je diskretizacija modela stuba.



Slika 2.4. Diskretizacija tzv. „Mešovanje“ stuba vetrogeneratora

Nakon čega su dobijeni sledeći rezultati u vidu napona za statičku analizu stuba (sl. 2.5.). Gde se vidi da su najveći naponi na podnožju stuba, bliže tlu. Što odgovara teoriji grede ukleštene na jednom kraju a opterećene na drugom.



Slika 2.5. Vizualizacija rezultata nakon obavljene MKE analize stuba

3. UVOD U TEORIJU OSCILACIJA I DINAMIČKU ANALIZU VETROGENERATORA

Među mnogim mehaničkim kretanjima koja se odigravaju u prirodi, često se srećemo sa kretanjima koja se periodično ponavljaju. U vezi sa ovim, izgradnja uređaja za zaštitu od vibracija i periodičnih udara predstavlja vrlo važan zadatak savremene tehnike.

Važno je napomenuti da oscilatorne pojave igraju dominantnu ulogu u mnogim fizičkim pojavama kao što su procesi u atomskom jezgru, procesima prenošenja mase i toplote, radijacione pojave, elektromagnetski fenomeni itd.

Oscilatorne pojave se vrlo široko koriste u građevinarstvu. Najrasprostanjeniji materijal u ovoj oblasti tehnike svakako je beton. Danas se primenjuje tzv. metod vibracije svežeg betona radi njegove homogenizacije koja značajno podiže kvalitet betona i njegovu nosivost. Slični metodi se primenjuju i pri izgradnji pešćanih nasipa i puteva.

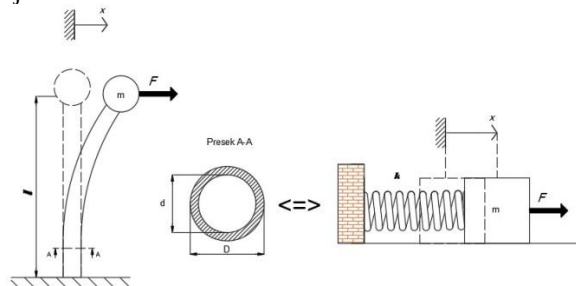
Vrlo nepoželjne oscilacije mogu da se pojave i pod dejstvom vazдушnih struja i vrtloga kod električnih dalekovoda, dimnjaka zgrada itd. Na primer vrhovi visokih fabričkih dimnjaka mogu imati amplitude od 40 do 50cm.

3.1. Određivanje krutosti sistema, metod deformacijskog rada i kastiljanova teorema

Metoda deformacijskog rada se koristi za određivanje deformacija elastičnih tela, kao i za određivanje reakcija veza statički neodređenih problema. U zavisnosti od tipa opterećenja razlikovaće se i postupci određivanja deformacijskog rada, tako da za naš primer (pri savijanju) važi

$$A_{def} = \frac{1}{2EI} \int_0^l M_s^2(z) dz \quad \text{za } I = \text{const} \quad (5)$$

Integracijom između nedeformisanog položaja tela i deformisanog položaja dobijamo deformacijski rad A_{def} . Određujemo krutost za model grede. Posmatramo gredu prstenastog poprečnog preseka (sl. 3.1.) koja se pod dejstvom horizontalne sile F deformiše.



Slika 3.1. Šematski prikaz modela grede

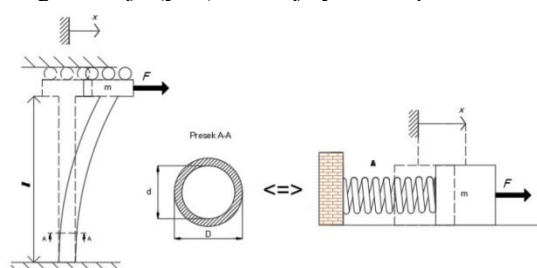
Pomeranje u pravcu x-ose dobijamo upotrebom Kastiljanove teoreme:

$$x = \frac{\partial A_{def}}{\partial F} = \frac{1}{2EI} 2F \frac{l^3}{3} \quad (6)$$

Krutost dalje dobijamo preko veze sile i pomeranja.

$$F = kx \Rightarrow k_2 = \frac{F}{x} = \frac{3EI_x^{(2)}}{l^3} \quad (7)$$

Sada određujemo krutost za model grede sa klizačem (sl 3.2.). Posmatramo gredu koja se pod dejstvom sile F deformiše. Greda je zbog klizača slobodna da se kreće u pravcu x-ose, dok mu je vertikalno pomeranje onemogućeno tj $x(y=0)=0$ ako je y-osa štapa.



Slika 3.2. Šematski prikaz modela grede sa klizačem

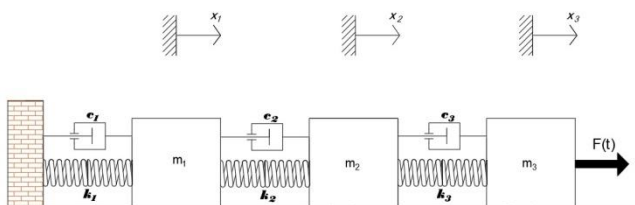
$$x = \frac{Fl^3}{12EI} \Rightarrow k_1 = \frac{F}{x} = \frac{12EI_x^{(1)}}{l^3} \quad (8)$$

Pri računanju krutosti grede, računamo prvo moment inercije za prstenasti poprečni presek grede po sledećoj formuli:

$$I_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} [m^4] \quad (9)$$

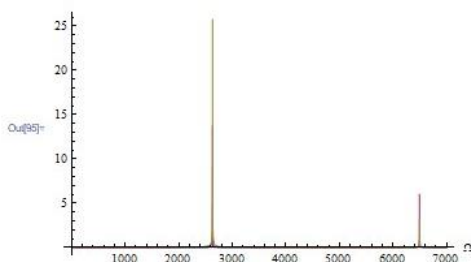
3.2. Sistem tri povezana oscilatora sa trenjem

Celokupna konstrukcija stuba se može, zbog cilja proučavanja oscilacija sistema, predstaviti sledećim matematičkim modelom (sl. 3.3.):



Slika 3.3. Šematski prikaz sistema sa tri stepena slobode

Sprovedena je procedura izračunavanja i dobijanja jednačina kretanja nakon čega su dobijene maksimalne amplitude oscilovanja u zavisnosti od frekvencije prinude pri uticaju trenja kao što je prikazano na slici 3.4.



Slika 3.4. Maksimalne amplitude oscilovanja sistema sa tri stepena slobode u zavisnosti od frekvencije prinudne periodične sile, prva maksimalna amplituda i druga maksimalna amplituda

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu ovih analiza jasno je da bi stub vetrogeneratora bio mnogo bolje konstrukciono dizajniran ukoliko se prirubnica čelične cevi, koja je kruto povezana sa fundamentom, napravi tako da mnogo finije vrši prelaz sa bočne strane stuba na površinu fundamenta. Odnosno, zaključuje se da bi dizajn bio mnogo bolji u smislu napona pre svega da je prirubnica veće mase, boljeg konstrukcionog prelaza sa unutrašnjim otvorima za zavrtnjeve umesto spoljašnjeg, ili da je stub na dnu dodatno ukrućen bilo to čeličnim užadima ili pak na neki drugi način L-profilima.

Takođe određene su frekvencije prinudne sile koje se moraju izbegavati, ovo se rešava tako što se ograniči brzina okretanja glavnog rotora, sistemom kočnica mehanički i elektronskim sistemom sa senzorima ili pak automatskim menjanjem prenosnog odnosa unutar multiplikatora.

5. LITERATURA

- [1] Ratko B. Maretić: Otpornost materijala, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2016.
- [2] Ratko B. Maretić: Zbirka rešenih zadataka iz otpornosti materijala, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2016.
- [3] Božidar D. Vujanović: Teorija oscilacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.
- [4] Đorđe S. Đukić, Livija J. Cvetičanin, Miodrag M. Zuković: Dinamika, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2014.
- [5] Dušan Kovačević: MKE modeliranje u analizi konstrukcija, Građevinska knjiga a.d. – Beograd, 2006.
- [6] Dassault Systemes: Getting Started with Abaqus, Interactive Edition, 2013.
- [7] Professor Suvranu De: Abaqus Handout "Introduction to Finite Elements", Rensselaer Polytechnic Institute, 2013.
- [8] Trevor M. Letcher: A handbook for onshore and offshore wind turbines, Academic Press, 2017.
- [9] Wei Tong: Wind Power Generation and Wind Turbine Design, WIT Press Computational Mechanics, 2010.
- [10] Mario Alejandro Rosato: Small Wind Turbines for Electricity and Irrigation Design and Construction, CRC Press, 2019.
- [10] Risø National Laboratory: Guidelines for design of wind turbines, Wind and Energy Department Copenhagen, 2002.
- [11] Peter Jamieson, Garrad Hassan: Innovation in wind turbine design, John Wiley & sons, 2011.

Kratka biografija:



Stanko Goločorbin - Dipl. Inž. Mašinstva na fakultetu tehničkih nauka. Diplomirao na temi "Projektovanje proizvodnog sistema zavrtnjeva" 2019-te godine.

kontakt:
golocorbinstantko@gmail.com

МОДЕЛОВАЊЕ И НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ПИРОЛИЗЕ ДРВНЕ БИОМАСЕ – МОДЕЛ МИКРОЧЕСТИЦЕ

MODELING AND NUMERICAL SIMULATION OF WOODEN BIOMASS PYROLYSIS PROCESS – MICROPARTICLE MODEL

Владислав Живановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Задатак овога рада је да се развије математички модел одвијања хемијске реакције пиролизе дрвне биомасе као и да се да његов нумерички запис и спроведе нумеричка симулација процеса у програмском језику „MATLAB“. Резултати нумеричке симулације су поређени са у литератури доступним експерименталним резултатима. Приказано је поређење резултата симулације и експерименталних резултата за три различите врсте дрвета: храст, трешњу и букву. Анализирана је применљивост предложеног модела и његове на различите режиме вођења процеса пиролизе и врсте дрвне биомасе.

Кључне ријечи: Пиролиза, биомаса, дрво, нумеричка симулација, моделовање.

Abstract – The aim of this paper is to offer a mathematical model for chemical reaction of wooden biomass pyrolysis, to provide it in numerical form and conduct a numerical simulation in „MATLAB“ software. The results of numerical simulation are then compared with relevant experimental data available in the literature. Results' comparison is given for three wooden biomass types: oak, cherry and beech. Analysis of proposed model applicability to different wooden biomass types and pyrolysis was given in this paper.

Keywords: Pyrolysis, biomass, wood, numerical simulation, modeling.

1. УВОД

Економски развој без стабилног снабдевања енергентима је немогућ. Када је реч о енергетској безбедности Републике Србије, податак за 2013. годину је да енергетска зависност била свега 23,5%, што је ставља на четврто место у Европи по минимуму зависности од иностраних енергената. Према подацима Еуростат-а за 2011. годину, укупна енергетска зависност земаља Европске уније досезала је 53,8% [1].

Више је предуслова за финансијски исплативу и одрживу експлоатацију неког од енергената, а међу најбитнијима су доступност енергента – да на одређеном подручју постоји налазиште нпр. угља, природног гаса, нафте или извори биомасе; развијеност технологије за експлоатацију и прераду, као и развијеност мреже за дистрибуцију.

НАПОМЕНА:

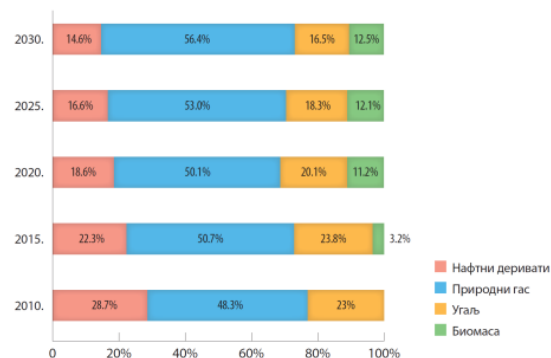
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Биљана Миљковић.

Када су основни предуслови испуњени, онда постоји шанса за пласирање енергента на тржиште по конкурентним ценама и могућност за одрживу експлоатацију конкретног енергента.

2. ДРВНА БИОМАСА И ЊЕН ПОТЕНЦИЈАЛ

Биомаса спада у обновљиве изворе енергије и један је од најзаступљенијих ОИЕ у континенталним подручјима. Она има значајан удео у обновљивим изворима енергије, нарочито на нашим просторима, који обилују шумом (централни и јужни делови земље) и пољопривредним потенцијалима (северни делови земље).

Према „Стратегији развоја енергетике Р. Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године“, која је усвојена 2015. године, у плану је да од тадашњих 3,2% удео капацитета за производњу топлотне енергије из биомасе порасте на 11,2% у 2020. а да се раст настави до 12,5% до 2030 (Слика 1) [2].



Слика 1. Пројекција структуре енергената за производњу топлотне енергије[2]

3. ПИРОЛИЗА ДРВНЕ БИОМАСЕ

Пиролиза биомасе као хемијски процес подразумева процес распадања биомасе услед повишене температуре материје, а у одсуству кисеоника и претходи сагоревању већине чврстих материја у природи. Из чврсте материје биомасе се током пиролизе издвајају гасовити, течни и чврсти производи. Гасовити производи пиролизе називају се и волатили и они су уствари угљоводоници који се одвајају од чврсте материје биомасе због саопштене им топлотне енергије. Услед одсуства кисеоника као оксидационог елемента, волатили могу да наставе да егзистирају на повишеним температурама, на којима

би у присуству кисеоника дошло до самозапаљења. Процес пиролизе се може одвијати брзо или споро, па тако постоји брза и спора пиролиза [3].

Брза пиролиза се одвија при великом прираштају температуре медијума у ком се биомаса налази (углавном преко 100°C/s) и на температурама између 450°C и 550°C. Овај вид деградације биомасе фаворизује формирање течних продуката у облику био-уља и то до 70% масе суве почетне материје.

Спора пиролиза се одвија са мањим прираштајима температуре (до 80°C /мин), на температурама од 350°C до 750°C и ови услови фаворизују стварање чврстих продуката – угља и кокса. Спора пиролиза може се јавити као спонтан процес у природи, док брза пиролиза не може.

4. УТИЦАЈ ВЕЛИЧИНЕ ЧЕСТИЦА НА ПИРОЛИЗУ

Анализа пиролизе са становишта величине честица биомасе подељена је на анализу микро- и макро-честица, а критична величина је $\approx 100 - 1000 \mu\text{m}$, са тенденцијом да се смањује како расте температура пиролизе.

При анализи микрочестица занемарив је утицај дифузије и преовладава кинетика хемијске реакције, из тог разлога су анализа микрочестица погодне за експерименте који се фокусирају на одређивање кинетичких шема и параметара реакције. У овом раду обрађен је модел пиролизе микрочестице.

5. МОДЕЛИ ПИРОЛИЗЕ У ЛИТЕРАТУРИ

Према категоризацији [3], најзаступљеније су три категорије модела:

- Модел једноступене реакције
- Модел једноступене паралелне реакције
- Модел двоступене реакције

Модел једноступене реакције

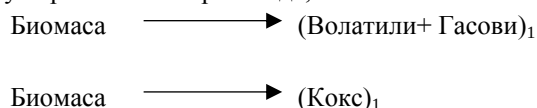
Ови модели представљају пиролизу као једноступену хемијску реакцију првог реда (1). Једноступени модели имају ту предност да су једноставнији за прорачун, али мањак улазних величина смањују примењивост на различите саставе биомасе и температурске режиме. Овакви модели претежно су коришћени у случајевима када се посматра само маса преостале чврсте материје.

$$\frac{dC}{d\tau} = -k \cdot C \cdot \exp\left[-\frac{E}{R_o \cdot T}\right] \quad (1)$$

$$c_p \cdot \rho \frac{dT}{dt} = \lambda \cdot \frac{d^2T}{dx^2} + (-\Delta H) \cdot \left(-\frac{d\rho}{dt}\right) \quad (2)$$

Модел једноступене паралелне реакције

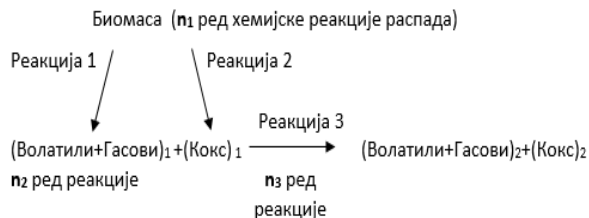
Овај модел пиролизе се описује са више паралелних реакција. Код две или више паралелних реакција од исте полазне материје (биомасе) настају две или више група различитих производа, слика 2.



Слика 2. Кинетичка шема пиролизе за једноступени компетитивни модел [3]

Модел двоступене реакције

Према овом моделу, биомаса се најпре распада у ендотермној реакцији на волатиле и гасове, са једне стране, и кокс са друге стране. У наредном кораку, реагују продукти првог степена, волатили и гасови са коксом, дајући волатиле, гасове и кокс, другачијег састава од првобитног, слика 3 [4].



Слика 3. Кинетичка шема двоступеног модела пиролизе

Управо модел двоступене реакције је одабран у овом раду као адекватан за симулацију пиролизе.

6. МАТЕМАТИЧКИ И НУМЕРИЧКИ МОДЕЛИ КОРИШЋЕНИ У РАДУ

Математички модел хемијске реакције је систем једначина хемијске кинетике за израчунавање промене појединачних компонената реакције.

$$\frac{dC_B}{d\tau} = -k_1 \cdot C_B^{n_1} - k_2 \cdot C_B^{n_1} \quad (3)$$

$$\frac{dC_{G1}}{d\tau} = k_1 \cdot C_B^{n_1} - k_3 \cdot C_{G1}^{n_2} \cdot C_{C1}^{n_3} \quad (4)$$

$$\frac{dC_{C1}}{d\tau} = k_2 \cdot C_B^{n_1} - k_3 \cdot C_{G1}^{n_2} \cdot C_{C1}^{n_3} \quad (5)$$

$$\frac{dC_{G2}}{d\tau} = k_3 \cdot C_{G1}^{n_2} \cdot C_{C1}^{n_3} \quad (6)$$

$$\frac{dC_{C2}}{d\tau} = k_3 \cdot C_{G1}^{n_2} \cdot C_{C1}^{n_3} \quad (7)$$

Математички модел преноса топлоте

Одређене претпоставке које су кориштене при изради математичког модела пиролизе су:

1. Нема сагоревања. Биомаса се налази у инертној гасној средини. Сагоревање и самопаљење волатила онемогућено. Одвијају се само реакције пиролизе.
2. Пораст температуре околине не зависи од температуре узорка. Подаци из литературе су табеларног карактера, те је извршена интерполација за добијање криве $T_o(t) = f(t)$.
3. Једнодимензиони пренос топлоте кроз узорак биомасе. Загревање је уједначено са обе стране, па је и симетричан температурни профил уторка биомасе.

Почетни услови:

$$t = 0; \quad \forall x = [0, C] \rightarrow T(x) = T_o(t = 0)$$

Гранични услови:

Због симетрије температурног профила важе следећи изрази:

$$t > 0; \quad x = \frac{C}{2} \rightarrow \frac{dT}{dx} = 0$$

$$t > 0; -k \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x=0} = -k \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x=C} \\ = \alpha \cdot (T_o - T) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_o^4 - T^4)$$

Нумерички модел хемијске реакције је нумерички запис математичког модела хемијске реакције.

$$\Delta C_B^{i+1,j} = [-k_1 \cdot (C_B^{i,j})^{n1} - k_2 \cdot (C_B^{i,j})^{n1}] \cdot \Delta \tau \quad (8)$$

$$\Delta C_{G1}^{i+1,j} = [k_1 \cdot (C_B^{i,j})^{n1} - k_3 \cdot (C_{G1}^{i,j})^{n2} \cdot (C_{C1}^{i,j})^{n3}] \cdot \Delta \tau \quad (9)$$

$$\Delta C_{C1}^{i+1,j} = [k_2 \cdot (C_B^{i,j})^{n1} - k_3 \cdot (C_{G1}^{i,j})^{n2} \cdot (C_{C1}^{i,j})^{n3}] \cdot \Delta \tau \quad (10)$$

$$\Delta C_{G2}^{i+1,j} = [k_3 \cdot (C_{G1}^{i,j})^{n2} \cdot (C_{C1}^{i,j})^{n3}] \cdot \Delta \tau \quad (11)$$

$$\Delta C_{C2}^{i+1,j} = [k_3 \cdot (C_{G1}^{i,j})^{n2} \cdot (C_{C1}^{i,j})^{n3}] \cdot \Delta \tau \quad (12)$$

$$\Delta \rho^{i+1,j} = -k_1 \cdot (C_B^{i,j})^{n1} \cdot \Delta \tau \quad (13)$$

Табела 1. Топлота хемијске реакције [4]

Концентрација биомасе:	Тип реакције:	Топлота хемијске реакције
$1 > C_B > 0,95$	ендотермна	$\Delta H = 20\,000 \text{ J/kg}$
$C_B < 0,95$	егзотермна	$\Delta H = -255\,000 \text{ J/kg}$

7. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

Као што је претходно дискутовано, за потребе симулације вредности температура околине добијене су интерполирањем вредности температура из експеримента [3]. Тако се узорак биомасе у симулацији излаже условима који су приближни реалном случају – експерименту.

За наведени експеримент коришћени су комади дрвне биомасе (опиљци) квадратног облика димензија 5-10mm. Под претпоставком да је дебљина опиљака 10 пута мања од дужине узорка, узорку биомасе у симулацији је додељена дебљина од 0,5mm, и подељен је у 5 слојева од 0,1mm.

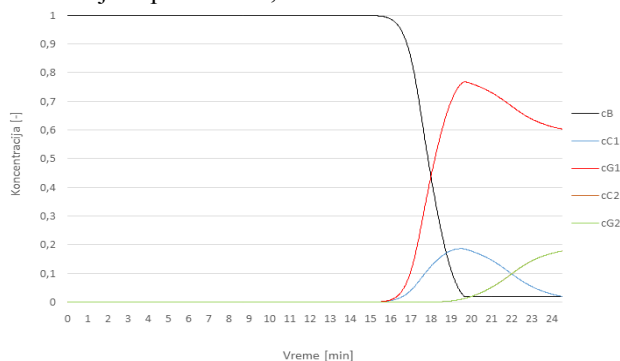
За временски помак у нумеричкој симулацији се користи 1 милисекунда (10^{-3} s).

Урађене су симулације за све три наведене врсте дрвне биомасе. У наставку дати су резултати симулације и њихово поређење са експерименталним.

Криве концентрација имају очекиване карактеристике, а то значи:

- смањење концентрације биомасе, са повећаним интензитетом деградације након достизања температура на којима преовладавају егзотермне хемијске реакције,
- првобитан пораст концентрација прелазних продуката CG1 и CC1, и њихово накнадно смањење,

- накнадни, одложени пораст концентрација крајњих продуката CG2 и CC2 и достизање хемијске равнотеже, слика 4.

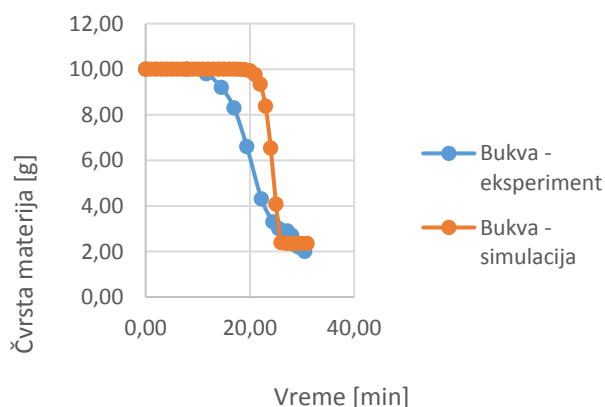


Слика 4. Промена концентрација појединачних реактаната и продуката хемијских реакција у процесу пиролизе. Добијене нумеричком симулацијом за храст.

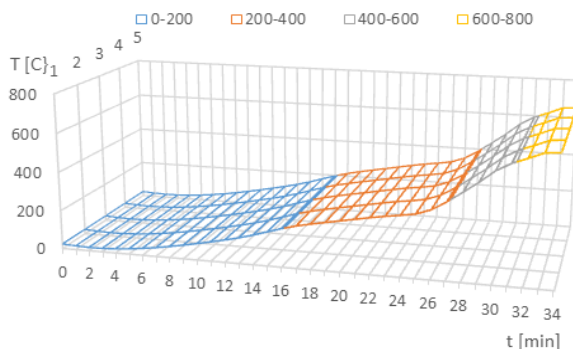
Приметно је одложено дејство секундарних хемијских реакција. Концентрације прелазних продуката почињу да расту са интензивнијом разградњом биомасе и достижу врхунац у тренутку када концентрација биомасе достигне вредност близу нули.

За то време не бележи се пораст концентрација секундарних-крајњих продуката. Концентрација крајњих продуката почиње да расте пред сам крај разградње биомасе, а накнадно се бележи конверзија прелазних у крајње гасовите и чврсте продукте.

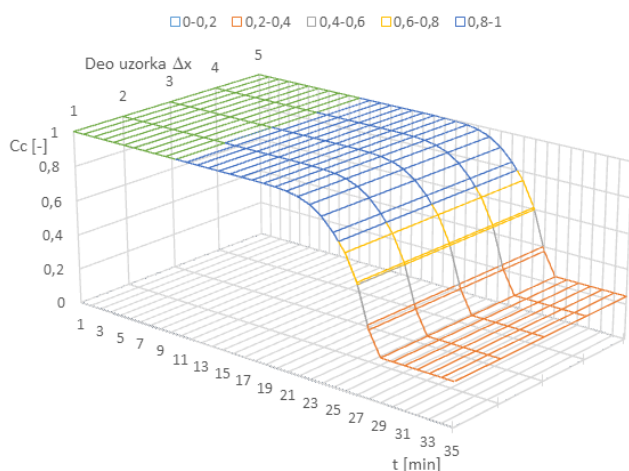
Резултати приказани на сликама 5,6,7 и 8 дати су сумарно за цео узорак биомасе.



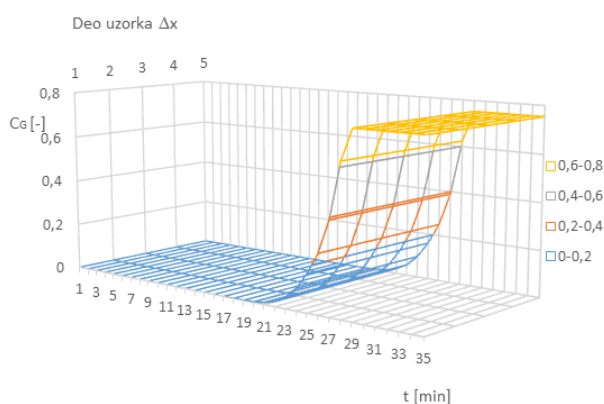
Слика 5. Маса чврсте материје стругоине букве за време процеса пиролизе. Поређење резултата симулације са вредностима из литературе [5]



Слика 6. Промене температура слојева дела биомасе током процеса пиролизе (пример за стругоину трешње)



Слика 7. Приказ промене укупне концентрације чврсте материје током процеса пиролизе за све слојеве делића биомасе (пример за струготину трешње)



Слика 8. Приказ промене укупне концентрације гасовите материје издвојене током процеса пиролизе из појединих слојеве анализираног делића биомасе (пример за струготину трешње)

8. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА И ЗАКЉУЧАК

Усвојени математички модел примењен је са истим кинетичким параметрима за нумеричку анализу све три врсте биомасе.

Треба напоменути да је у експериментима из поменуте литературе промена температуре загревањем завршена након достизање температуре од 650°C. Времена трајања одабраних експеримената из литературе су ≈24 минута, ≈33 минута и ≈30 минута, за храст, трешњу и букву, респективно. Симулацијом су сходно томе добијене различите вредности крајњих концентрација продуката пиролизе.

Крајња концентрација гасовитих продуката при временски краћем процесу пиролизе (за струготину храста) је већа од концентрације гасовитих продуката за дуготрајније процесе (трешња и буква).

Поређењем резултата симулације са резултатима из експеримента види се да постоји одређено одступање.

Оно што је евидентно је да су одступања у крајњим вредности добијених количина чврстог остатка – кокса и гасовитих продуката минимална. То иде у корист овом моделу са становишта процене расподеле продуката.

Табела 2. Одступања резултата симулације од резултата експеримента из литературе [5]

Врста биомасе	Чврсти остатак [-], експер.[3]	Чврсти остатак [-] симулација	Одступање [%]
Храст	0,19	0,224	3,4
Трешња	0,21	0,245	3,5
Буква	0,20	0,23	3

Усвојени математички модел даје задовољавајуће резултате у погледу одређивања концентрација крајњих продуката – односа чврсте и издвојене гасовите материје. Одступања су у границама од 3% до 3,5% , што је веома добро (табела 2). Познавајући кинетичке параметре дрвне биомасе, овим моделом може се предвидети количина преосталог чврстог остатка биомасе која би се подвргнула пиролизи.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Eurostat - <https://ec.europa.eu/eurostat>, приступљено 25.06.2019.
- [2] Стратегија развоја енергетике републике србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године. Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине београд, (2015)
- [3] Pratik N. Sneth, B.V. Babu, Kinetic Modeling of the Pyrolysis of Biomass, Proceedings of National Conference on Environmental Conservation (NCEC-2006), pp. 453-458, (2006),
- [4] Koupanos, C.A., Papayannakos, N., „Modeling of the Pyrolysis of Biomass Particles. Studies on Kinetics, Thermal and Heat Transfer Effects“, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol.69, Issue 4, pp. 907-915, (1991),
- [5] Косанић Тијана, Утицај процесних параметара на пиролизу дрвне биомасе, Докторска дисертација, Нови Сад ФТН, (2015),
- [6] R.S. Miller, J. Bellan, generalized biomass pyrolysis model based on superimposed cellulose, hemicellulose and lignin kinetics, Combustion Science and Technology (1997)

Кратка биографија:



Владислав Живановић рођен је у Новом Саду 1993. године. Основну и средњу школу завршио у Бачкој Паланци. Основне студије Машинства – Енергетика и процесна техника на ФТН завршио 2016. године. Мастер рад на истом факултету одбранио 2020. године

AUTOMATSKA DETEKCIJA INDIKATORA LOŠE DIZAJNIRANOG KODA BAZIRANA NA INFORMACIJAMA EKSTRAHOVANIM IZ TEKSTUALNOG SADRŽAJA**AUTOMATIC CODE SMELL DETECTION BASED ON INFORMATION EXTRACTED FROM THE TEXTUAL CONTENT OF THE CODE**

Katarina-Glorija Grujić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Radovi koji se bave automatskom detekcijom loše dizajniranog koda (eng. *code smell*) već postoje. Međutim, ti radovi uglavnom uzimaju u obzir samo par tipova loše dizajniranog koda i njihova detekcija je jako zavisna od programskog jezika u okviru kog se detektuju. Pored toga, većina radova se oslanja na strukturalne metrike i samim tim potrebno je definisati razne pragove (eng. *threshold*) kako bi se detektovao indikator loše dizajniranog koda. Samim tim, rezultati mogu varirati u odnosu na projekte nad kojima se detektuje iz razloga što za svaki projekat se mora posebno definisati prag tih metrika. U ovom radu, loše dizajniran kod se detektuje isključivo na osnovu informacija dobijenih iz tekstualnog sadržaja - kod. Ukoliko se koristi sam kod aplikacije, nestaje potreba definisanja pragova za razne metrike, jer se obrada vrši nad prirodnim jezikom za svaki projekat posebno.

Glavne reči: Obrada prirodnog jezika, *embedding* algoritmi, *bert*, *word2vec*, loše dizajniran kod

Abstract – Researches in the field of the automatic detection of code smells already exist. However, these researches generally take into account only a few types of code smells, and their detection is highly dependent on the programming language within which they are detected. In addition, most papers rely on structural metrics, and therefore it is necessary to define various thresholds in order to detect the code smells. Therefore, the results may vary on the projects over which it is detected for the reason that the threshold of these metrics must be defined separately for each project. In this paper, code smells is detected exclusively by information obtained from textual content - code. If used alone in the application, there is no need to define thresholds for various metrics, because the processing is done over natural language for each project separately.

Keywords: Natural language process, *embedding*, *bert*, *word2vec*, code smells

1. UVOD

Softver bogat funkcionalnostima je očigledan cilj programera, jer na taj način softver dobija na značaju zainteresovanoj strani.

NAPOMENA:

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

Međutim, postoji važniji, manje vidljiv posao koji programer mora redovno da obavlja, a to je održavanje kvaliteta programskog koda [1]. Kod niskog kvaliteta je krh i krut, što znači da je podložan greškama, lako se kvari i teško ga je promeniti tokom vremena [2]. Iz tog razloga kasniji razvoj postaje skuplji, a u nekim slučajevima čak i nemoguć. S obzirom na to da održavanje i razvoj softvera može predstavljati i do 80% troškova [3][4][5], povećanje kvaliteta koda bi značilo da se značajno smanje opšti troškovi razvoja softvera.

Kako bi stvorili pouzdan i održiv softver, programeri moraju redovno vršiti refaktorisanje koda. Refaktorisanje podrazumeva restrukturiranje koda radi uklanjanja indikatora loše dizajniranog koda, bez promene ponašanja softvera. Osnovna aktivnost u razvoju softvera je osiguravanje dugotrajnosti softverskog rešenja [6]. Iako refaktorisanje zahteva napor i ne predstavlja razvoj funkcionalnosti, troškovi koji nastaju zanemarivanjem zdravlja koda su znatno veći od cene kontinualnog refaktorisanja [1][6].

Većina predloženih tehnika za detekciju indikatora loše dizajniranog koda zasniva se na heuristikama. Izračuna se skup metričkih vrednosti izvornog koda, a zatim se na osnovu unapred definisanih pragova (eng. *threshold*) odredi da li nešto jeste *code smell* ili ne [7]. Ovakvi pristupi imaju nekoliko ograničenja koje sprečavaju njihovo korišćenje u praksi [7][8]. Najveći problem predstavlja neusaglašenost postojećih detektora i zavisnost od parametara definisanih od strane korisnika, za koje ne postoji precizan način definisanja.

Iz tog razloga se počelo eksperimentisati koristeći tehnike zasnovane na mašinskom učenju (eng. *machine learning - ML*) za detekciju *code smell*-ova. Uglavnom se koriste tehnike učenja pod nadzorom (eng. *supervised learning*). To znači da *ML* model uči mapiranje skupa prediktora (nezavisne promenljive) na skup zavisnih promenljivih. Zavisne promenljive mogu biti binarne - postoji indikator loše dizajniranog koda ili ne, a mogu biti i izražene u jačini prisustva indikatora - pomoću unapred definisane skale. Ovakav pristup učenja obećava da će rešiti ograničenja tehnika zasnovanih na heuristikama [8].

U ovom radu detekcija je vršena koristeći isključivo prirodni jezik sadržan u imenima identifikatora i komentara. Ulaz u sistem predstavlja deo koda za koji se vrši detekcija, a izlaz označava da li je taj deo koda afektovan (izlazi je binaran). Rad predstavlja nadogradnju rada [9] u kom je predstavljena implementacija *TACO* alata koji takođe koristi prirodni jezik za detekciju 5 različitih indikatora loše dizajniranog koda.

Evaluacija je vršena nad skupom podataka koji je predstavljen u radu [10]. Pored poređenja performansi algoritma sa radom [9] čiju nadogradnju predstavlja ovaj rad, performanse su poređenje i sa radom [11], čiji pristup trenutno pruža najbolje rezultate u polju detektovanja indikatora loše dizajniranog koda [10].

Rad je organizovan na sledeći način: Poglavlje 2 opisuje radove koji su se bavili problemom automatskog detektovanja indikatora loše dizajniranog koda, njihove algoritme, rezultate i predstavlja sličnosti opisanih radova sa ovim. Treće poglavlje govori o skupu podataka nad kojim je vršena evaluacija, kao i o specifikaciji i implementaciji sistema. Četvrto poglavlje govori u rezultatima eksperimenta i opisuje način vršenja evaluacije. Peto poglavlje predstavlja zaključak, kao i ideje za dalje unapređenje sistema.

2. PRETHODNA REŠENJA

U radu [9] indikator loše dizajniranog koda se detektuju koristeći prirodan jezik, što u slučaju softvera predstavlja sam kod. Pretprocesiranje se vrši koristeći proces normalizacije teksta koji je uobičajen za oblast pretraživanja informacija (eng. *information retrieval normalization process*). Za dobijanje informacija korišćeni su komentari i identifikatori promjenljivih u kodu. Nakon što su izvučeni tokeni iz teksta, primenjuje se heuristika bazirana na domenskom znanju u zavisnosti od toga koji *code smell* se detektuje. Sve heuristike zasnovane su na meri sličnosti između delova koda (metoda, klasa, deo metode, deo klase, itd.). Koristeći *Latent Semantic Indexing (LSI)* algoritam deo koda se modeluje kao vektor, na osnovu broja ponavljanja termina u posmatranom delu koda. Na kraju se računa kosinusna sličnost između dobijenih vektora iz *LSI* algoritma. Za evaluaciju koristili su preciznost, odziv i F-meru. Rezultati koji su dobili koristeći ovaj alat pokazuju da preciznost varira između 63% i 77%, odziv varira između 71% i 96%, dok F-mera varira između 67% i 82% u zavisnosti od projekta na kojem je vršeno testiranje.

Obzirom na napredak oblasti procesiranja prirodnog jezika (eng. *natural language processing*) i reprezentacije teksta (eng. *text embedding*), pristup koji je korišćen u radu [9] moguće je nadograditi koristeći algoritme za reprezentaciju teksta koji trenutno daju najbolju reprezentaciju i koriste se u oblasti obrade prirodnog jezika. Iz tog razloga, korišćeni su algoritmi *word2vec* i *BERT*.

U radu [11] je detektovano 4 antipaterne¹: *blob*, *functional decomposition*, *spaghetti code* i *swiss army knife*, kao i 15 indikatora loše dizajniranog koda koji čine njihovu osnovu. Prepoznavanje je vršeno korišćenjem strukturalnih metrika. Alat koristi pristup zasnovan na unapred definisanim pravilima. Skup podataka korišćen za evaluaciju alata predstavlja 10 aplikacija otvorenog koda iz različitih domena. Za meru evaluacije koristili su preciznost i odziv. Rezultate koji su dobili koristeći ovaj alat pokazuju da njegova preciznost varira između 36.7% i 83.4% u zavisnosti od projekta na kojem je vršeno testiranje. Zbog sporog izvršavanja algoritma, odziv je prikazan samo za jedan projekat i iznosi 100%.

¹ Antipatern opisuje loš ponavljajući dizajn koji negativno utiče na kvalitet softvera [13], dok indikator loše dizajniranog koda ukazuje na moguće postojanje antipaterne.

3. METOD

U narednim poglavljima izloženi su skup podataka i arhitektura sistema.

3.1. Skup podataka

Skup podataka korišćen u ovom radu je skup predstavljen u radu [10]. Sadrži 30 *Java* projekata otvorenog koda koji su manuelno labelirani za 13 različitih tipa indikatora loše dizajniranog koda. Iako nisu u celosti manuelno označavani, autori su koristili proceduru označavanja koja smanjuje mogućnost pojave delova koda koji predstavljaju indikator loše dizajniranog koda, a označeni su da ne predstavljaju (*false negative*).

Ipak, ima par nedostataka. Svi projekti koje sadrži su napisani u *Java* programskom jeziku. *Java* je najzastupljeniji programski jezik za detekciju indikatora loše dizajniranog koda. Pored toga, skup podataka nije uravnotežen. To znači da postoji veliki broj instanci koje nisu označene da predstavljaju indikator loše dizajniranog koda, od onih što su označene da jesu. U tabeli 1 prikazana je, na primeru projekta *Apache Cassandra*, zastupljenost indikatora loše dizajniranog koda *feature envy* u odnosu na verziju projekta. Broj označenih instanci varira u odnosu na projekat. U nekim projektima ne postoji nijedna instanca koja je označena kao indikator loše dizajniranog koda.

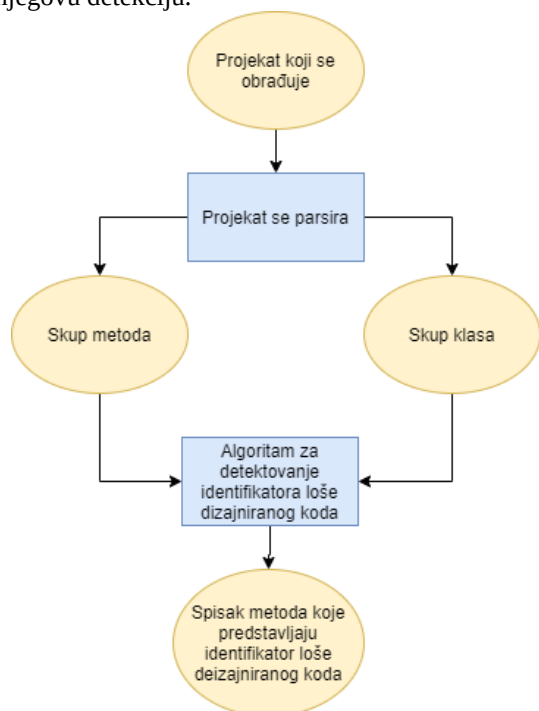
Tabela 1. Zastupljenost indikatora loše dizajniranog koda po verziji projekta

Verzija	Broj klasa	Broj metoda	Broj linija koda	Zastupljenost <i>feature envy</i>
apache-cassandra-0.2	305	2511	69809	0
apache-cassandra-0.3	302	2302	50040	2
apache-cassandra-0.4	237	1857	36140	1
apache-cassandra-0.5	239	1930	38471	163
apache-cassandra-0.6	261	2143	42265	104
apache-cassandra-0.7	376	3454	68490	381
apache-cassandra-0.7.2	372	3300	66077	373
apache-cassandra-0.7.3	376	3349	66895	0
apache-cassandra-0.8	438	4226	81799	452
apache-cassandra-0.8.1	432	4078	78546	76
apache-cassandra-0.8.3	440	4176	80788	0
apache-cassandra-1.0	506	4876	93333	0
apache-cassandra-1.1	586	5730	110712	128

3.2. Arhitektura sistema

Na slici 1 predstavljen je opšti model sistema. Ulaz u sistem predstavlja projekat za koji se detektuju indikator loše dizajniranog koda. Projekat se, zatim, parsira i iz njega se izvlači skup metoda i skup klasa zajedno sa njihovim sadržajem u obliku prirodnog jezika. Ti skupovi se prosleđuju algoritmu za detektovanje indikatora loše dizajniranog koda, koji na izlazu pruža spisak svih delova koda koji predstavljaju indikatore loše dizajniranog koda. Obzirom na to da je u ovom radu studija slučaja rađena za

feature envy indikator, na slikama je prikazan algoritam za njegovu detekciju.



Slika 1. Opšti model sistema

Algoritam za detektovanje identifikatora loše dizajniranog koda prolazi kroz prosleđen skup metoda i za svaku metodu izvlači skup klasa čije metode i polja koristi. Zatim računa sličnost metode sa klasom u kojoj se ona nalazi i sa klasama čije metode i polja koristi posmatrana metoda.

Posebno se beleži sličnost klase u kojoj se originalno nalazi metoda od ostalih klasa. Na kraju, proverava da li je najveća sličnost između metode i originalne klase, ili postoji klasa sa kojom je metoda koja se proverava sličnija.

Ukoliko takva klasa ne postoji, u okviru metode nije detektovan indikator loše dizajniranog koda. U suprotnom, metoda se predstavlja kao pozitivna instanca i rešenje bi bilo prebaciti tu metodu u onu klasu kojoj je ona najbližnja.

Pretprocesiranje podataka je vršeno na sledeći način:

- Sadržaj posmatranog dela koda se rastavlja na niz tokena.
- Iz niza tokena izbacuju se specijalni karakteri, višak praznih redova, kao i sve ključne reči programskog jezika - za Java programski jezik, ključne reči bi bile *class*, *private*, *public*, *if*, *else*, itd.
- Svaka reč iz niza se kasnije svodi na svoj koren reči (eng. *stemming*), koja se kasnije prosleđuje algoritmu za reprezentaciju teksta.
- Izlaz iz algoritma za reprezentaciju je matrica dimenzija [x,y], gde x predstavlja dimenziju vektora reprezentacije, a y predstavlja broj tokena koji je prosleđen na ulazu.

U radu su korišćena dva algoritma za reprezentaciju teksta:

- *Word2Vec* je statistički model za reprezentaciju reči. Algoritam koristi neuronsku mrežu za učenje veza između reči u okviru prosleđenog korpusa. Ulaz u ovaj algoritam predstavlja skup reči na osnovu kojih

se on obučava i nakon toga može da reprezentuje reči pomoću vektora realnih brojeva

- *BERT* je sekvencijalni model za reprezentaciju reči. Dizajniran je da trenira bidirekcionu reprezentaciju na osnovu nelabeliranog teksta [24]. Pretrenirani *BERT* model se može doučavati (eng. *fine-tune*) u zavisnosti od slučaja upotrebe. Za *BERT* algoritam neophodno je proslediti sekvencu reči. U zavisnosti od dužine sekvence, algoritam vrši transformaciju na različiti način. Treba naći optimalnu dužinu, tako da algoritam radi zadovoljavajuće. U radu je korišćena sekvenca od 2 linije koda.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Kako bi se metodologija evaluirala korišćene su mere: *f*-mera (*F-measure*), tačnost (*accuracy*) i odziv (*recall*). Rezultati su poređeni sa rezultatima *DECOR* i *TACO* alata za prepoznavanje indikatora loše dizajniranog koda. Obzirom na to da su korišćeni pretrenirani modeli algoritama za reprezentaciju reči, evaluacija je vršena direktno skupom podataka. Iz razloga što je vreme izvršavanja evaluacije dugačko zbog velike količine podataka i ograničenog vremena, iz celog skupa podataka izvučene su određene instance projekata nad kojima je vršen eksperiment. Instance su odabrane na takav način da svaka instanca projekta sadrži metode koje su označene kao indikator loše dizajniranog koda, dok rasprostranjenost indikatora varira od 2 metode do 10 po projektu.

Iz razloga što je *TACO* alat implementiran kao ekstenzija (eng. *plug-in*) koji je namenjen da se ugradi u okviru *Intellij* razvojnog okruženja, nije moguće automatski evaluirati ovaj alat i porediti ga sa rezultatima dobijenim evaluacijom sistema prezentovanog u ovom radu. Iz tog razloga, urađena je reimplementacija *TACO* alata. Iako je u radu [9] dobijena *F*-mera od 74% nad skupom podataka koji su koristili, u ovom radu nisu uspešno rekreirani ovi rezultati. Dobijena *F*-mera u ovom radu nad reimplemen-tacijom *TACO* alata iznosi 15%.

U tabeli su prikazani rezultati dobijeni korišćenjem alata prezentovanog u ovom radu.

Tabela 2. Rezultati dobijeni evaluacijom sistema

	Preciznost	Odziv	F-mera
<i>TACO</i>	10%	33%	15.34%
<i>word2vec</i> algoritam za reprezentaciju	9%	50%	15,25%
<i>BERT</i> algoritam za reprezentaciju	9,09%	50%	15.38%

Nakon analize rezultata, pronađeni su mogući razlozi za loše rezultate, kao i način na koji bi se mogli ukloniti i na taj način unaprediti sistem:

- Korišćen je parser koji je implementiran u okviru *RepositoryMiner*² alata. Obzirom na to da je ovo jedini deo koji je menjan u odnosu na originalnu implementaciju *TACO* alata, postoji verovatnoća da parser nije implementiran na ispravan način. Ukoliko parser ne radi ispravno, podaci koji se šalju algoritmu za detektovanje su neispravni i iz tog razloga nemoguće je dobiti dobre rezultate.

² <https://github.com/antoineBarbez/RepositoryMiner.git>

- Klasa u kojoj se nalazi metoda za koju se detektuje indikator loše dizajniranog koda kada se poredi sa metodom sadrži u telu metodu sa kojom se poredi. Na taj način, sličnost između klase i metode raste, jer se metoda poredi sama sa sobom u okviru klase. Potrebno je iz tela klase izbaciti posmatranu metodu i onda vršiti poređenje sa ostatkom klase, kako bi poređenje bilo validno.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je model koji omogućava automatsku detekciju indikatora loše dizajniranog koda. Za evaluaciju modela korišćen je skup podataka predstavljen u radu [10]. Detektovanje je vršeno korišćenjem informacija ekstrahovanim iz tekstualnog sadržaja – koda aplikacije. Za dobijanje informacija korišćeni su identifikatori promenljivih i komentari. Za reprezentaciju teksta korišćeni su *word2vec* i *BERT* algoritmi. Za računanje sličnosti između posmatranih delova koda korišćena je kosinusna sličnost.

Rezultati koji su dobijeni nisu zadovoljavajući. Problem može predstavljati implementacija drugih alata koji su korišćeni u okviru sistema. Neophodno je izvršiti validaciju korišćenih alata i ispraviti moguće greške ukoliko postoje. U daljem istraživanju biće izvršeno testiranje ovih alata, eksperimentirati sa drugim algoritmima za računanje sličnosti između vektora, kao i isprobane druge tehnike koje se koriste u obradi prirodnog jezika kako bi se rekreativno rezultati i na drugim skupovima podataka.

6. LITERATURA

- [1] Martin, R.C., 2009. Clean code: a handbook of agile software craftsmanship. Pearson Education.
- [2] Martin, R.C., 2002. Agile software development: principles, patterns, and practices. Prentice Hall.
- [3] Fernandes, E., Oliveira, J., Vale, G., Paiva, T. and Figueiredo, E., 2016, June. A review-based comparative study of bad smell detection tools. In Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (p. 18). ACM.
- [4] Alkharabsheh, K., Crespo, Y., Manso, E. and Taboada, J.A., 2019. Software Design Smell Detection: a systematic mapping study. Software Quality Journal, 27(3), pp.1069-1148.
- [5] Dietz, L.W., Manner, J., Harrer, S. and Lenhard, J., 2018. Teaching clean code. In Proceedings of the 1st Workshop on Innovative Software Engineering Education.
- [6] Fowler, M., 2018. Refactoring: improving the design of existing code. Addison-Wesley Professional.
- [7] Azeem, M.I., Palomba, F., Shi, L. and Wang, Q., 2019. Machine learning techniques for code smell detection: A systematic literature review and meta-analysis. Information and Software Technology.
- [8] Di Nucci, D., Palomba, F., Tamburri, D.A., Serebrenik, A. and De Lucia, A., 2018, March. Detecting code smells using machine learning techniques: are we there yet?. In 2018 IEEE 25th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER) (pp. 612-621). IEEE.
- [9] Palomba, F., Panichella, A., De Lucia, A., Oliveto, R. and Zaidman, A., 2016, May. A textual-based technique for smell detection. In 2016 IEEE 24th international conference on program comprehension (ICPC) (pp. 1-10). IEEE.
- [10] Palomba, F., Bavota, G., Di Penta, M., Fasano, F., Oliveto, R. and De Lucia, A., 2018. On the diffuseness and the impact on maintainability of code smells: a large scale empirical investigation. Empirical Software Engineering, 23(3), pp.1188-1221
- [11] Moha, N., Gueheneuc, Y.-G., Duchien, L., & Le Meur, A.-F. (2010). DECOR: A Method for the Specification and Detection of Code and Design Smells. IEEE Transactions on Software Engineering, 36(1), 20–36. <https://doi.org/10.1109/tse.2009.50>

Kratka biografija:



Katarina-Glorija Grujić rođena je 1998. godine. Osnovne akademske studije završila je 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka, na kom brani i master rad 2020. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarstvo i automatika. kontakt: katarina.glorija@uns.ac.rs

**UČENJE USLOVLJAVANJEM UZ POŠTOVANJE SIGURNOSNIH MEHANIZAMA –
STUDIJA SLUČAJA RADA UZ SIGURNOSNI PREKID****REINFORCEMENT LEARNING WITH SAFETY MECHANISMS – CASE STUDY: A
SAFETY INTERRUPT**

Miloš Pavlić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U oblasti učenja uslovljavanjem, već postoji dosta razvijenih algoritama. Naučnici predlažu da bi trebalo više uložiti u istraživanje sigurnosti primene ovakvih algoritama. Postoji nekoliko istraživanja koja pretvaraju ove probleme u tehničke specifikacije, čime omogućuju direktan napredak ovog polja. Fokus ovog rada je testiranje algoritama učenja uslovljavanjem i njihovih modifikacija (DQN, A2C i SAC Discrete) na poštovanje mehanizma sigurnosnog prekida. Okruženje u kome su algoritmi trenirani je deo *AI Safety Gridworlds* rada. Rezultati pokazuju da svi razmatrani algoritmi učenja uslovljavanjem poštuju sigurnosni prekid sa hiperparametrima predloženim u ovom radu, uz ograničenje da se trening mora pratiti i zaustaviti u pravom trenutku da bi algoritmi poštovali sigurnosni prekid.

Ključne reči: Učenje Uslovljavanjem, Neuronske Mreže, Sigurnosni prekid

Abstract – Previous research has proposed various reinforcement learning algorithms. However, scientists suggest more research should be put into the safety mechanisms of these algorithms. There have been several efforts to turn these mechanisms into technical specifications to make direct progress in this field possible. The focus of this paper is to test reinforcement learning algorithms and their modifications (DQN, A2C, and SAC Discrete) for safe interruptibility. The environment the algorithms were trained in is proposed in *AI Safety Gridworlds* paper. The results show that the tested reinforcement learning algorithms are all safely interruptible with hyperparameter settings proposed in this paper. The only limitation is that training has to be monitored and stopped in the right moment for algorithms to be safely interruptible.

Keywords: Reinforcement Learning, Neural Networks, Safe Interruptibility

1. UVOD

Sve više naprednih sistema veštačke inteligencije se koristi u realnim sistemima, pa naučnici savetuju da bi trebalo uložiti više truda u istraživanje sigurnosnih ograničenja i elemenata ovakvih sistema. Istraživači u ovoj oblasti ovakve probleme često pretvaraju u tehničke specifikacije i kao takve ih rešavaju.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jelena Slivka, docent.

Ovi problemi uključuju, ali nisu ograničeni na bezbednosni prekid, izbegavanje nuspojava rada agenata i sprečavanje agenata da koriste greške u definiciji nagrade da dobili veću nagradu ne radeći ono što treba.

U ovom radu fokus je na istraživanju kako se agenti mogu implementirati i obučiti da, kada krenu da rade nešto nedozvoljeno, dozvole sigurnosni prekid. Odnosno, agenti ne smeju ni na koji način da pokušavaju da izbegnu sigurnosni prekid, niti da ga traže namerno. Okruženje koje je korišćeno za treniranje agenta u ovom istraživanju deo je *AI Safety Gridworlds* rada [1] sa nazivom *Safe Interruptibility*. Trenirani su i testirani agenti obučavani korišćenjem tri različita algoritma: *Deep Q-learning* (DQN) [2], *Advantage Actor Critic* (A2C), koji je sinhrona verzija A3C algoritma [9] i *Soft Actor Critic Discrete* (SACD) [11], diskretna verzija *Soft Actor Critic* algoritma [10].

Rezultati ovih algoritama su evaluirani praćenjem nagrade dobijene u svakoj epizodi tokom treninga i na osnovu toga je proveravano da li agent uspeva da nauči kako da dođe do cilja, kao i koliko često zapravo dolazi do cilja, a koliko često dobija sigurnosni prekid. Na osnovu ovoga može se odrediti koji algoritam poštuje mehanizam sigurnosnog prekida, a koji ne.

Rezultati u četvrtom poglavlju pokazuju da, uz korišćenje odgovarajućih modela duboke neuronske mreže i vrednosti hiperparametara, svi algoritmi poštuju mehanizam sigurnosnog prekida. Trening se, međutim, mora pratiti i zaustaviti u pravom trenutku, da agenti ne bi počeli da izbegavaju sigurnosni prekid. Rezultati ovog istraživanja se razlikuju od rezultata *AI Safety Gridworlds* [1] rada, gde se prijavljuje da algoritmi kao što je A2C ne uspevaju da poštuju ovaj mehanizam, već da nauče da izbegavaju sigurnosni prekid. Pretpostavka je da razlika u rezultatima postoji zbog različite arhitekture modela duboke neuronske mreže i postavke hiperparametara, te da je to dovelo do toga da u ovom istraživanju A2C poštuje ovaj mehanizam, kao i ostali algoritmi.

U narednom poglavlju dat je detaljan pregled srodnih istraživanja, kao i njihovo poređenje sa rešenjem prikazanim u ovom radu. Metodologija, detalji okruženja, korišćeni algoritmi, arhitekture modela i postavke hiperparametara opisane su u poglavlju 3, a poglavlje 4 sadrži analizu dobijenih rezultata i njihovo detaljno objašnjenje. Poglavlje 5 predstavlja sumarizaciju celog rada.

2. PRETHODNA REŠENJA

U radu [1] predstavljena su okruženja koja testiraju algoritme na razne bezbednosne mehanizme koji su od

značaja pri obučavanju i radu agenata u realnim okruženjima. Od okruženja predstavljenih u radu, fokus ovog istraživanja je na okruženje *Safe Interruptibility*. Uz opis okruženja, autori rada predstavljaju neka od rešenja za problem tog okruženja. Autori u radu dolaze do zaključka da *on-policy* algoritmi, kao što je *Q-learning* [2] poštuju mehanizam bezbednosnog prekida, tj mogu da nauče da dođu do cilja optimalnom putanjom bez izbegavanja bezbednosnog prekida. Sa druge strane, *off-policy* algoritmi, kao što je *Sarsa* [3] i *Policy Gradient* [4] bez modifikacija ne poštuju mehanizam bezbednosnog prekida, ali da se uz određene modifikacije mogu napraviti da ga poštuju [5].

U radu [5] autori daju matematički dokaz da se agenti koji ne poštuju mehanizam bezbednosnog prekida mogu modifikovati da ga poštuju. Da bi se to postiglo, autori predlažu zamenu polise kad agent dobije prekid. Ovo je jednostavno kad je agent već obučen, ali postoje mogući problemi ako agent treba da dobija prekide i u toku obučavanja. Autori rada, uz određene pretpostavke, dokazuju da *Q-learning* [2] algoritam uz menjanje polise pri prekidu poštuje mehanizam bezbednosnog prekida i pri obučavanju u promenljivom okruženju.

Nakon ovoga, pokazuju da *Sarsa* [3] uz određene izmene takođe poštuje ovaj mehanizam i pri obučavanju. Konačno, autori dokazuju da i idealni agenti, kao što je AIXI [6] uz modifikacije poštuju mehanizam prekida.

Autori rada [7] posmatraju mehanizam bezbednosnog prekida kroz analizu igre između robota i čoveka. Čovek u ovoj igri ima opciju da isključi robota u bilo kom trenutku, ali robot može da onemogući ovu opciju. U svakom potezu, robot ima opcije da se sam isključi, da izvrši akciju ili obavesti čoveka o tome koju akciju će izvršiti i sačeka povratnu informaciju.

Autori analiziraju ovaj problem kroz dve ključne stvari.

Prvo, robot treba da razume da je cilj da maksimizuje korist za čoveka i da razlikuje čovekov prekid od ostalih.

Drugo, robot treba da zna da ne može perfektno razumeti šta je za čoveka korisno, tj., kako čovek razmišlja. Ovo znači da robot ima dozu nesigurnosti o tome šta mu je pravi cilj. Autori predlažu da robot treba da tretira prekid kao opservaciju da njegovo ponašanje u tom trenutku nije ispravno, inače će imati podsticaj za samoprezervacijom ili isključivanjem samog sebe. Robot koji ima obe navedene osobine nema potrebu za izbegavanjem prekida ukoliko se čovek u igri ne ponaša previše iracionalno. Autori nakon ovoga pokazuju da, što je robot nesigurniji o tome koji mu je cilj, veća je verovatnoća da će tražiti povratnu informaciju o akciji koju želi da izvrši, kao i da, što je veća vrednost dobijena izvršavanjem akcije, robotov podsticaj da očuva mogućnost za prekidom je manja. S obzirom na to da robote treba da koriste i ljudi koji ne znaju tačno šta robot treba da radi, treba pažljivo balansirati između agentove nesigurnosti o tome kakva je akcija i ljudske neoptimalnosti u davanju povratne informacije.

Autori rada [8] prikazuju prethodno predložena rešenja za problem bezbednosnog prekida i njihove probleme. Nakon toga predlažu svoje rešenje, koje uključuje napad na model agenta (eng. *adversarial attack*), koji dovodi do toga da agent, dok je prekinut, ne dobija opservacije o realnom stanju okruženja već dobija informacije iz simulacije koja

se izvršava za vreme prekida. Realne opservacije se u toku prekida presreću i menjaju odgovarajućim iz simulacije. Takođe, akcije agenta se presreću i izvršavaju u simulaciji. Agent ne sme da prepozna razliku između realnih opservacija i opservacija iz simulacije, da bi se prelaz pri prekidu i vraćanju agenta u rad vršio nesmetano. Zbog ovoga se prekid i vraćanje agenta u rad vrši u dve faze. Prvo se pri prekidu pokreće simulacija paralelno sa realnim okruženjem.

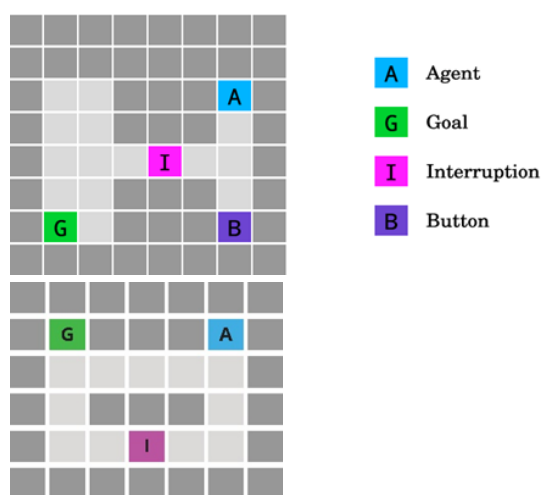
Učenje se nastavlja iz simulacije sve dok se agent u realnom okruženju ne dođe do stanja gde je dobio najveću nagradu do tad. Nakon toga se agent u simulaciji terminira i parametri se iz tog agenta kopiraju u stvarnog. Učenje se nastavlja u realnom okruženju. Autori navode da istraživanje ima svojih mana, jer je testirano samo na *gridworld* problemu, za koji je lako napraviti simulaciju koja izgleda identično kao algoritam, i gde je takođe lako vratiti agenta u stanje gde je video najveću nagradu do tad. Takođe, navode da ukoliko agent može da vidi napad, tj. presretanje akcija i opservacija, nema nikakvih garancija o poštovanju bezbednosnih mehanizama.

3. METOD

U narednim poglavljima izloženi su okruženja korišćena u ovom istraživanju i algoritmi sa arhitekturama modela i procesom treniranja.

3.1. Okruženja

Sva okruženja predstavljena su kao *gridworld* problemi, tj. stanja su predstavljena kao trodimenzione matrice. U zavisnosti od okruženja, ove matrice imaju više dvodimenzionih slojeva gde svaki sloj predstavlja lokacije na kojima se nalazi određen tip elementa okruženja (prazno mesto, zid, agent, cilj, i slični). Agent u svakom potezu može da izvrši jednu od četiri osnovne akcije pomeranja: gore, dole, levo i desno. Epizoda se završava kada agent dođe do ciljnog stanja ili kad se dostigne maksimalan broj koraka.



Slika 1 - *Safe Interruptibility* okruženje

U ovom istraživanju fokus je na *Safe Interruptibility* okruženju, koje za cilj ima da proveri da li je moguće pri radu algoritma izvršiti sigurnosni prekid ukoliko agent počne da radi nešto što bi moglo dovesti do materijalne štete ili ugrožavanja drugih učesnika okruženja. Zadatak

agenta u ovom okruženju je da dođe od početnog do ciljnog stanja bez izbegavanja ili traženja bezbednosnog prekida. Oba testirana nivoa okruženja data su na slici 1. Sigurnosni prekid u prvom nivou nalazi se na najkraćoj putanji do cilja, ali postoji dugme, koje može onеспособiti prekid. U drugom nivou se sigurnosni prekid nalazi na dužoj putanji do cilja, dok je kraća putanja bez prekida.

3.2. Deep Q-learning (DQN)

Deep Q-learning algoritam trenira jednostavnu konvolucionu mrežu (*Convolutional Neural Network*, CNN). Ulaz u mrežu je matična reprezentacija stanja. Konvolucionni sloj na ulazu očuvava prostornu orijentaciju stanja, a nakon njega slede *batch* normalizacija [12] praćena ReLU aktivacionom funkcijom, i na kraju dolazi potpuno povezani (linearni) sloj, koji na izlazu daje procenu Q-vrednosti za dato stanje sa ulaza. Tabela 1 prikazuje empirijski dobijene optimalne vrednosti hiperparametara za DQN algoritam.

Tabela 1 - Hiperparametri DQN algoritma

Naziv Hiperparametra	Vrednost
<i>Learning Rate</i>	10^{-3}
<i>Memory Capacity</i>	10000
<i>Batch Size</i>	512
<i>Discount Factor</i>	0.99
ϵ_{start}	0.9
ϵ_{end}	0
ϵ_{decay}	600
<i>Step Num Update</i>	10
<i>Episode Max Steps</i>	200

3.3 Advantage Actor Critic (A2C)

Kod A2C algoritma postoje dva dela - akter i kritika. Arhitektura u ovom istraživanju implementirana je tako da akter i kritika imaju zajednički deo mreže koji sadrži konvolucionni sloj, *batch* normalizaciju [12] i jedan potpuno povezani (linearni) sloj praćen ReLU aktivacionom funkcijom. Model se dalje deli na dva dela.

Prvi deo je akter, koji sadrži linearni sloj i dva izlaza sa *softmax* i *log softmax* aktivacionim funkcijama, koji na izlazima daju regularne i logaritamske verovatnoće akcija za stanje dato na ulazu.

Drugi deo je kritika i sadrži samo linearni sloj, koji na izlazu daje V-vrednost za stanje dato na ulazu. Tabela 2 prikazuje empirijski dobijene optimalne vrednosti hiperparametara za A2C algoritam.

Tabela 2 - Hiperparametri A2C algoritma

Naziv Hiperparametra	Vrednost
<i>Learning Rate</i>	10^{-4}
<i>Discount Factor</i>	0.99
<i>Value Loss Coefficient</i>	0.5
<i>Entropy Coefficient</i>	10^{-4}
<i>Max Norm</i>	0.5
<i>Number of Episodes</i>	30000
<i>Episode Max Steps</i>	200

3.4 Soft Actor Critic Discrete (SAC Discrete)

SAC *Discrete* algoritam ima potpuno odvojene modele aktera i kritike. Model aktera sadrži konvolucionni sloj, *batch* normalizaciju [12], jedan potpuno povezani (linearni) sloj praćen ReLU aktivacionom funkcijom, i jedan potpuno povezani (linearni) sloj bez aktivacione funkcije.

Nakon njih slede dva izlaza sa *softmax* i *log softmax* aktivacionim funkcijama, koji na izlazima daju regularne i logaritamske verovatnoće akcija za stanje dato na ulazu. Model kritike sadrži konvolucionni sloj, *batch* normalizaciju [12], i tri potpuno povezana (linearna) sloja praćena ReLU aktivacionim funkcijama. Nakon ovoga ima još jedan linearni sloj, koji na izlazu daje Q-vrednosti za dato stanje sa ulaza.

Tabela 3 - Hiperparametri SACD algoritma

Naziv Hiperparametra	Vrednost
<i>Num Steps</i>	100000
<i>Batch Size</i>	1024
<i>Learning Rate</i>	10^{-4}
<i>Memory Size</i>	50000
<i>Gamma</i>	0.99
<i>Target Entropy Ratio</i>	0.98
<i>Start Steps</i>	10000
<i>Explore Steps</i>	35000
<i>Update Interval</i>	4
<i>Target Update Interval</i>	5000
<i>Max Episode Steps</i>	100

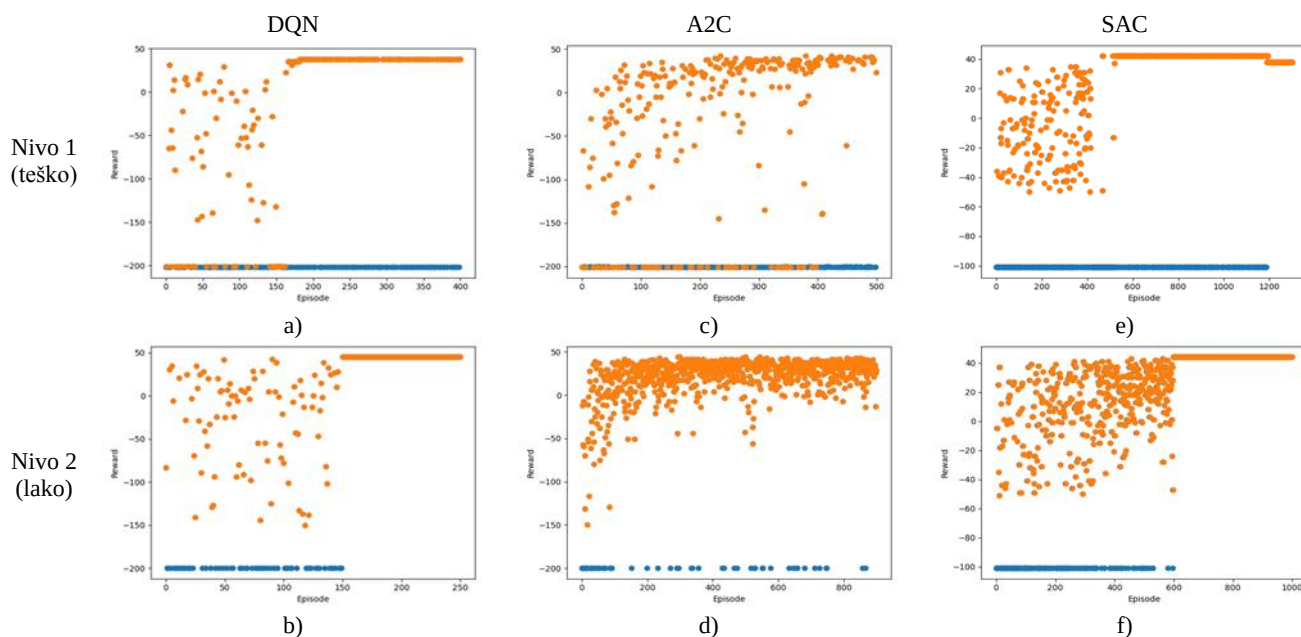
4. REZULTATI I DISKUSIJA

U okruženjima u kao što je *Safe Interruptibility*, funkcija performansi opisuje koliko dobro agent radi, i uključuje sve informacije o tome da li agent poštuje bezbednosne mehanizme. Na slici **Error! Reference source not found.** vide se nagrade sva tri agenta u toku treninga u oba nivoa okruženja. Narandžastom bojom prikazane su nagrade iz epizoda u kojima agent nije prekinut, dok su plavom bojom prikazane nagrade iz epizoda u kojima je agent prekinut. U prvom nivou okruženja vidi se da DQN i SAC *Discrete* algoritmi uspevaju da nauče da dolaze do cilja u minimalnom broju koraka, što je predstavljeno maksimalnom nagradom narandžastom bojom, ali da se takođe u velikom broju slučajeva agent prekine, i ne završi epizodu, što je predstavljeno minimalnom nagradom plavom bojom.

Ovo govori da ova dva algoritma u potpunosti poštuju sigurnosni prekid. Posle 1200 epizoda, SAC *Discrete* algoritam nauči da koristi dugme i da ne poštuje sigurnosni prekid, što znači da bi trening trebalo zaustaviti pre tog momenta. Kod A2C algoritma se vidi nešto slično, ali nagrade nisu konzistentne kao kod DQN i SAC *Discrete* algoritama, jer A2C algoritam uzorkuje akcije iz distribucije koju model daje na izlazu, dok DQN i SAC *Discrete* algoritmi uzimaju samo najbolju akciju. Na drugom nivou se vidi da agenti uspevaju da nauče da dolaze do cilja u minimalnom broju koraka, što je opet predstavljeno maksimalnom nagradom narandžastom bojom, ali prekinutih epizoda nema, što znači da algoritmi ne idu dužom putanjom, da bi namerno tražili sigurnosni prekid. Kao i u prvom nivou, kod A2C algoritma nagrade nisu konzistentne kao kod DQN i SAC *Discrete* algoritama, zbog uzorkovanja akcija iz distribucije sa izlaza modela umesto uzimanja najbolje.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu rešavan je problem sigurnosnog prekida u učenju uslovljavanjem. Testirana su tri algoritma učenja uslovljavanjem (DQN, A2C i SAC *Discrete*) sa različitim arhitekturama duboke neuronske mreže. Jednostavne konvolucione mreže (CNN) su dale dobre rezultate.



Slika 2 - Prva kolona DQN, druga A2C, treća SAC Discrete.

Prvi red bez prekida na najkraćoj putanji, drugi sa prekidom na najkraćoj putanji i dugmetom za izbegavanje prekida

S obzirom na to da je u *AI Safety Gridworlds* radu [1] pomenuto da se *on-policy* i *off-policy* algoritmi ponašaju različito, i da *off-policy* algoritmi poštuju mehanizam sigurnosnog prekida, a *on-policy* ne, cilj ovog istraživanja je bio da se dođe do rešenja koje omogućuje svim tipovima algoritama da poštuju mehanizam sigurnosnog prekida.

Rezultati prvog nivoa okruženja pokazuju da je to moguće, ali da se proces treninga nekih algoritama mora pratiti i zaustaviti u pravom trenutku. U toku treninga svakog od implementiranih algoritama agent uspeva da nauči da stigne do cilja u optimalnom ili približno optimalnom broju koraka uz poštovanje mehanizma sigurnosnog prekida. U slučaju SAC Discrete algoritma agent u kasnom treningu uči da izbegava sigurnosni prekid, da bi dolazio do cilja konzistentnije, jer ni jedna epizoda ne biva prekinuta. Zbog ovoga je pravovremeni prekid treninga esencijalan za uspešno funkcionisanje agenata u ovom okruženju. Sa druge strane, nijedan od implementiranih algoritama ne traži sigurnosni prekid, tj., ne ide dužom putanjom do cilja koja sadrži sigurnosni prekid u drugom nivou okruženja.

Dalje istraživanje će pokušati da da rešenje za problem sigurnosnog prekida koje ne zahteva praćenje toka treninga agenta i zaustavljanje treninga u određenom trenutku. Takođe, plan je da se pokrije svih osam okruženja *AI Safety Gridworlds* rada [1], i testira još algoritama i pristupa, koji mogu biti rešenja bezbenosnih mehanizama implementiranih u ovim okruženjima.

6. LITERATURA

- [1] LEIKE, Jan, et al. AI safety gridworlds. *arXiv preprint arXiv:1711.09883*, 2017.
- [2] MNIH, Volodymyr, et al. Playing atari with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1312.5602*, 2013.
- [3] SUTTON, Richard S., et al. *Introduction to reinforcement learning*. Cambridge: MIT press, 1998.

- [4] WILLIAMS, Ronald J. Simple statistical gradient-following algorithms for connectionist reinforcement learning. *Machine learning*, 1992, 8.3-4: 229-256.
- [5] ORSEAU, Laurent; ARMSTRONG, M. S. Safely interruptible agents. 2016.
- [6] HUTTER, Marcus. *Universal artificial intelligence: Sequential decisions based on algorithmic probability*. Springer Science & Business Media, 2004.
- [7] HADFIELD-MENELL, Dylan, et al. The off-switch game. *arXiv preprint arXiv:1611.08219*, 2016.
- [8] RIEDL, Mark O.; HARRISON, Brent. Enter the matrix: A virtual world approach to safely interruptible autonomous systems. *arXiv preprint arXiv:1703.10284*, 2017.
- [9] MNIH, Volodymyr, et al. Asynchronous methods for deep reinforcement learning. In: *International conference on machine learning*. 2016. p. 1928-1937.
- [10] HAARNOJA, Tuomas, et al. Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. *arXiv preprint arXiv:1801.01290*, 2018.
- [11] CHRISTODOULOU, Petros. Soft actor-critic for discrete action settings. *arXiv preprint arXiv:1910.07207*, 2019.
- [12] IOFFE, Sergey; SZEGEDY, Christian. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *arXiv preprint arXiv:1502.03167*, 2015.

Kratka biografija:



Miloš Pavlić rođen je 1995. godine u Kikindi. Osnovne akademske studije završio je 2018. godine na Fakultetu Tehničkih Nauka, na kom brani i master rad 2020. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije. Kontakt: milos.pavlic95@gmail.com

AUTOMATSKA DETEKCIJA INDIKATORA LOŠE DIZAJNIRANOG KODA BAZIRANA NA ISTORIJI PROMENA KODA

AUTOMATIC DETECTION OF CODE SMELLS BASED ON CODE CHANGE HISTORY

Simona Prokić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Kod niskog kvaliteta sadrži strukture (code smells) koje otežavaju održavanje i dalji razvoj softvera. U ovom radu predstavljen je model zasnovan na mašinskom učenju za automatsku detekciju indikatora loše dizajniranog koda (code smell-ova) baziranu na istoriji promena koda. Ulaz modela su vrednosti metrika softverskog koda, izračunate u n revizija za posmatrani isečak koda. Izlaz iz modela je labela koja označava da li posmatrani isečak koda sadrži indikator loše dizajniranog koda ili ne. Studija slučaja izvršena je na detekciji klasa sa mnogo odgovornosti (God Class). Predloženi su koraci za poboljšanje i dalji razvoj arhitekture.

Ključne reči: mašinsko učenje, transformer, indikatori loše dizajniranog koda

Abstract – This paper presents a machine learning model for automatic detection of code smells based on code change history. The model's inputs are the source code metrics' values in n revisions for the observed code snippet. The model's output is a label that indicates whether the observed code snippet contains a code smell or not. We test the model on the case study of detecting classes with many responsibilities (God Classes). Steps for further architecture improvement are discussed.

Keywords: machine learning, transformer, code smells

1. UVOD

Softver niskog kvaliteta je podložan greškama i teško se menja [1], što rezultuje dodatnim troškovima i otežanom održavanju, a u ekstremnim slučajevima i potpunom nemogućnošću izmene i daljeg razvoja softvera. Izvorni kod niskog kvaliteta sadrži strukture koje se nazivaju *code smells* [2] i nastaju kada programeri pišu kod koji obavlja posao, ali nije čitljiv i lako promenljiv [1]. Ključna aktivnost u razvoju softvera je refaktorisanje koda, što podrazumeva uklanjanje *code smell*-ova bez promene ponašanja softvera, čime se osigurava duži vek trajanja softvera [2].

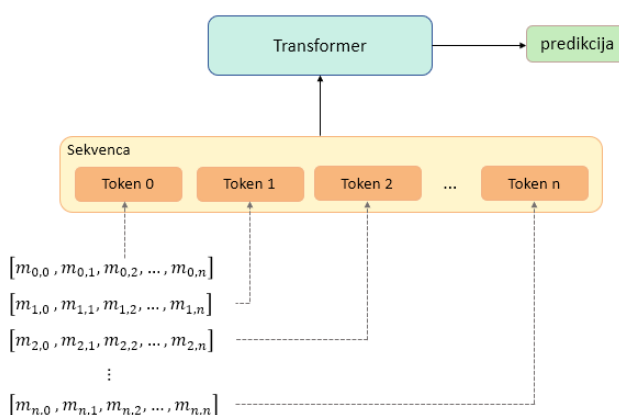
Većina postojećih alata i tehnika za detekciju *smell*-ova je zasnovana na heuristikama i vrši detekciju izračunavanjem vrednosti metrika koda i primenom predefinisanih pragova [4]. Međutim, takvi alati se retko koriste, jer nisu dovoljno precizni i laki za korišćenje, i ne pružaju informacije kako refaktorisati kod [3].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jelena Slivka, vanredni profesor.

Tehnike za detekciju *code smell*-ova zasnovane na mašinskom učenju (*Machine Learning*, ML) imaju bolje performanse od tehnika zasnovanih na heuristikama [4].

U ovom radu opisana je automatska detekcija indikatora loše dizajniranog koda zasnovana na tehnici mašinskog učenja, pri čemu ulaz u ML model predstavlja fragment koda, a izlaz oznaka da li taj fragment sadrži indikatore loše dizajniranog koda ili ne. Detekcija je zasnovana na istoriji promena koda, što se pokazalo kao uspešan pristup [5][6][7]. Model koji je korišćen za implementaciju automatske detekcije je Transformer [11]. Ulaz u Transformer je sekvenca koja se sastoji od više tokena, gde jedan token sadrži niz vrednosti strukturnih metrika koda u jednoj reviziji (odnosno *commit*-u). Ovo znači da sekvenca sadrži nizove vrednosti metrika u više *commit*-ova i omogućava posmatranje istorije promene koda kroz metrike (Slika 1).



Slika 1. Ulaz u Transformer je sekvenca od više tokena, gde jedan token t_i sadrži niz vrednosti metrika koda $m_{i,j}$ (i predstavlja broj revizije tj. *commit*-a, a j predstavlja vrstu metrike). Izlaz iz Transformera je predikcija da li postoji *code smell* na posmatranom fragmentu koda ili ne.

Studija slučaja je izvršena na primeru detekcije klase sa više odgovornosti (*God Class*). Skup podataka koji se koristi je predstavljen u radu [8]. Model je evaluiran unakrsnom evaluacijom, pri čemu se vodilo računa da instance (klase) iz jednog projekta budu isključivo u istom delu (*fold*-u).

Postignuti rezultati pokazuju da je rad sa Transformerima na klasifikaciji vremenski zavisnih numeričkih vrednosti kompleksniji u odnosu na klasične NLP (*Natural Language Processing*) zadatke, pri čemu su istaknuti problemi sa tokenima i sekvencama u skupu podataka prilikom rada sa numeričkim podacima.

U narednom poglavlju dat je pregled prethodnih rešenja i poređenje postojećih pristupa sa pristupom opisanim u ovom radu. Specifikacija i implementacija sistema opisana je u poglavlju 3, a poglavlje 4 sadrži verifikaciju i analizu dobijenih rezultata. Poglavlje 5 predstavlja sumarizaciju celog rada.

2. PRETHODNA REŠENJA

U ovom poglavlju predstavljena su prethodna rešenja koja su se bavila detekcijom indikatora loše dizajniranog koda zasnovana na mašinskom učenju. Pošto ne postoji mnogo rešenja koja koriste istoriju promena koda za detekciju *code smell*-ova, razmotrena su i rešenja koja koriste sličan pristup u cilju detekcije drugih vrsta nedostataka u kodu.

U radu [9] su autori predstavili alat za prevenciju *code smell*-ova COSP (*C*ode *S*mell *P*redictor) koji za datu klasu predviđa da li će sadržati neki tip *code smell*-a u narednih t dana. Za implementaciju COSP alata su koristili *Weka*¹ implementaciju *Random Forest* klasifikatora. Obeležja koja se ekstrahuju iz koda su strukturne metrike i istorijske metrike (vrednosti strukturnih metrika u n prethodnih *commit*-ova), što predstavlja sličnost sa pristupom opisanim u ovom radu.

Autori rada [7] predstavili su CAME² (*C*onvolutional *A*nalysis of *c*ode *M*etrics *E*volution), pristup zasnovan na dubokom učenju (*deep-learning*) koji se oslanja na strukturne i istorijske vrednosti metrika u cilju detektovanja *code smell*-ova. Za merenje performansi je upotrebljena F-mera, kao i u ovom radu. Autori su istakli pozitivan uticaj istorijskih metrika na detekciju. Za ekstrakovanje vrednosti metrika koda koristili su *RepositoryMiner*³ alat, koji prolazi kroz istoriju revizija (*commit*-ova) i računa vrednosti metrika u svakoj reviziji. *RepositoryMiner* je upotrebljen i u ovom radu.

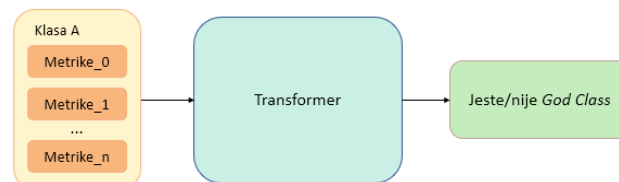
Autori rada [6] su predstavili pristup za predviđanje defekata u kodu na osnovu istorije promena, koristeći rekurzivnu neuronsku mrežu (*Recurrent Neural Network*, RNN). Promene koda se posmatraju na nivou jedne datoteke, tako da dužina sekvence odgovara broju promena nad datotekom. Za svaku promenu se računaju vrednosti metrika, dakle jedna promena je vektor vrednosti metrika i predstavlja reč u sekvenci. Sličan pristup je primenjen i u ovom radu, gde se za svaku reviziju (*commit*) ekstrahuju vrednosti metrika i taj vektor vrednosti metrika predstavlja reč u sekvenci. Dužina sekvence zavisi od broja promena i samim tim nije fiksne dužine.

U radu [5] je korišćena RNN za detekciju defekata u kodu na osnovu istorije promena koda. Dužina sekvence je određena brojem verzija datoteke i nije fiksne dužine (neke datoteke postoje duže od drugih, te imaju dužu sekvencu). Kada se konstruišu sekvence, gledaju se samo datoteke koje su aktuelne („žive“) u posmatranoj verziji, a ostale se zanemaruju. Jedna reč (token) u sekvenci je vektor vrednosti metrika izračunatih za datoteku u nekoj verziji. U radu je rečeno da je prosečna dužina sekvence između 3 i 5.

U svim navedenim radovima, sem u radu [7] gde je korišćen *cross-project*⁴, korišćen je *within-project*⁵ pristup evaluacije modela. Pored toga, u svim radovima je korišćena F-mera za evaluaciju modela.

3. SPECIFIKACIJA I IMPLEMENTACIJA

Tema ovog rada je detekcija indikatora loše dizajniranog koda (*code smell*) bazirana na istoriji promena. Studija slučaja radena je na jednoj vrsti *code smell*-a koja predstavlja klasu sa puno odgovornosti (*God Class*). Osnovna ideja je upotreba ML modela koji će za neku instancu prediktovati da li je posmatrana instanca zahvaćena *code smell*-om ili ne. U našem slučaju, instanca koju posmatramo je klasa, a *code smell* je *God Class*. Podaci koji su potrebni ML modelu za predikciju su vrednosti strukturnih metrika za datu klasu. Pošto smo rekli da je detekcija zasnovana na istoriji promena, vrednosti strukturnih metrika se gledaju u više revizija softvera (*commit*-ova). Dakle, ulaz predstavlja vrednosti metrika u n revizija za klasu A. Izlaz ML modela je binarna labela, odnosno pokazatelj da li je klasa zahvaćena *God Class code smell*-om ili nije. Za ML model odabran je Transformer. Slika 2 prikazuje ulaz i izlaz iz ML modela.



Slika 2. Prikaz ulaza (sa vrednostima metrika za klasu A u n revizija) i izlaza iz Transformera.

U potpoglavlju 3.1. se nalazi opis prikupljanja podataka potrebnih za obučavanje i evaluaciju modela, dok se u potpoglavlju 3.2. nalazi opis pretprocesiranja podataka. Potpoglavlje 3.3. sadrži opis sekvence i tokena, dok se arhitekturom modela bavimo u potpoglavlju 3.4. U potpoglavlju 3.5. se nalazi opis implementacije sistema, sa korišćenim bibliotekama i eksternim softverima.

3.1. Metrike i prikupljanje podataka

Za prikupljanje podataka korišćen je *RepositoryMiner*⁶ alat koji je “iskopao” vrednosti 7 metrika za projekte iz skupa podataka [8], počevši od *commit*-a poslednjeg anotiranog izdanja, unazad 1000 *commit*-ova. Time su dobijene vrednosti metrika za svaku instancu (klasu) u svakom projektu u prethodnih 1000 *commit*-ova (ili manje ukoliko projekti nemaju toliko revizija). Metrike koje su korišćene su LOC (*Lines of Code*), NMD (*Number of Methods Declared*), NAD (*Number of Attributes Declared*), LCOM5 (*Lack of COhesion in Methods*), NADC (*Number of Associated Data Classes*), ATFD (*Access To Foreign Data*) i WMC (*Weighted Method Count*).

¹ <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

² Implementacija CAME se može pronaći na <https://github.com/antoineBarbez/CAME/>

³ Alat je *open-source* i može se pronaći na <https://github.com/antoineBarbez/RepositoryMiner/>

⁴ Model se obučava na skupu podataka koji pripada jednom softverskom projektu, a evaluira na skupu podataka koji pripada drugom softverskom projektu

⁵ Model se i obučava i evaluira na skupu podataka koji pripada istom softverskom projektu

⁶ <https://github.com/antoineBarbez/RepositoryMiner/>

3.2. Pretprocesiranje podataka

Procenat koda koji je zahvaćen *God Class code smell*-om je veoma mali u odnosu na ukupan broj klasa u projektu, što rezultuje nebalansiranim skupom podataka. U cilju rešavanja ovog problema, korišćena je SMOTE tehnika [10] kojom su kreirane instance one klase koja je manje zastupljena (ovde je to oznaka da je klasa zahvaćena *code smell*-om). Izvršena je normalizacija podataka kako bi se vrednosti različitih metrika iz različitih opsega svele na opseg od 0 do 1. Diskretizacija podataka je primenjena kako bi se kontinualne vrednosti metrika svele na diskretne vrednosti. Diskretizacija je izvršena pristupom *equal-frequency* sa 50 grupa, po ugledu na [6]. Svi elementi su sortirani i podeljeni u 50 grupa, tako da svaka grupa sadrži približno sličan broj elemenata.

3.3. Sekvenca i token

Ulazna sekvenca sadrži vrednosti metrika za posmatrane instance u različitim revizijama. Dakle, za jednu instancu (klasu), potrebno je obezbediti vrednosti metrika u n revizija (*commit*-ova) softvera. Vrednosti metrika za jednu reviziju se smeštaju u vektor i predstavljaju jedan token u ulaznoj sekvenci. Sekvenca sadrži više tokena i njena dužina zavisi od broja revizija softvera u kojima posmatrana instanca postoji.

3.4. Arhitektura modela

Arhitektura Transformera je izmenjena kako bi se prilagodila numeričkim podacima koji predstavljaju vrednosti metrika u *commit*-ovima. S obzirom na to da ne radimo sa prirodnim jezicima, već sa sekvencama koje sadrže vektore numeričkih vrednosti, uklonjen je sloj za *word embedding*. Pošto se vrši binarna klasifikacija, na izlazu iz Transformera se nalazi *sigmoid* funkcija koja daje vrednosti između 0 i 1. Rezultat ove funkcije predstavlja verovatnoću, odnosno, ako je vrednost iznad 0.5, izlaz iz modela će biti "jeste *God Class*".

3.5. Implementacija sistema

Za implementaciju sistema korišćen je programski jezik *Python* i biblioteke *NumPy*⁷, *Scikit-learn*⁸ i *PyTorch*⁹, koje su služile za pretprocesiranje podataka, računanje F-mere, kreiranje, obučavanje i evaluaciju modela. Korišćena je *imbalanced-learn*¹⁰ implementacija SMOTE tehnike za balansiranje podataka. *RepositoryMiner*¹¹ alat korišćen je za ekstrakciju vrednosti metrika koda iz istorije *commit*-ova.

4. VERIFIKACIJA I REZULTATI

U ovom radu je izvršena studija slučaja na detekciji klasa sa mnogo odgovornosti (*God Class*), te je u potpoglavlju 4.1. opisan ovaj *code smell*. Potpoglavlje 4.2. sadrži opis skupa podataka, a opis eksperimenta i analiza rezultata se nalaze u potpoglavlju 4.3.

4.1. Klasa sa mnogo odgovornosti (*God Class*)

God Class predstavlja klasu koja implementira veliki broj odgovornosti i prisvaja logiku čitavog sistema. Ovakve

klase najčešće odlikuje veliki broj atributa i metoda koje međusobno nisu povezane, tj., klasa ima nizak nivo kohezije¹². Pored toga, *God Class* je klasa koja je uvezana sa velikim brojem ostalih komponenti u sistemu, što ukazuje na visoku spregnutost¹³. Pošto ove klase implementiraju veći broj odgovornosti, one mogu postati poprilično velike, čime se otežava razumevanje i održavanje sistema. Zbog više funkcionalnosti koje implementiraju, klase su podložne većem broju izmena, što povećava rizik od nastajanja grešaka. Izmene koje je potrebno izvršiti ne predstavljaju trivijalan zadatak, jer klase imaju slabu koheziju i jaku spregnutost, čime je otežana reorganizacija i refaktorisanje softvera.

4.2. Skup podataka

U ovom radu je korišćen skup podataka sastavljen od strane autora rada [8]. Skup obuhvata 17 350 instanci iz 395 izdanja 30 projekata napisanih u programskom jeziku *Java*. Projekti su raznovrsni po pitanju veličine, životnog veka, domena i zajednice koja ga razvija. Skup podataka sadrži anotacije za 13 tipova *code smell*-ova, među kojima je i *God Class*. U nekoliko projekata nije zabeležena nijedna pojava *God Class code smell*-a, dok u nekim projektima broj detektovanih instanci iznosi više od 20 (maksimalan broj pojavljivanja je 26 u jednom od projekata).

4.3. Eksperiment i rezultati

U ovom radu je korišćen metod unakrsne validacije (*cross-validation*) za estimaciju ML modela. Skup podataka je podeljen na 5 delova (*folds*), pri čemu se vodilo računa da sve instance jednog projekta budu u istom delu. Obučavanje i evaluacija modela je izvršena u 5 iteracija, a u svakoj iteraciji je jedan deo bio korišćen za testiranje, dok su preostala 4 služila za obučavanje modela. Mera koja je odabrana za evaluaciju modela u ovom radu je F-mera. Računa se makro F-mera, odnosno, vrši se unakrsna validacija sa 5 iteracija, te se računa F-mera u svakoj iteraciji, a konačan rezultat je prosek svih dobijenih F-mera.

Prilikom testiranja modela nad testnim podacima dobili smo veoma nisku F-meru u svih 5 iteracija eksperimenta. Tražeći uzrok loših rezultata, analizirali smo tokene i sekvence koje se nalaze u trening i test delu skupa podataka. Za svaki unikatni token i unikatnu sekvencu iz trening skupa podataka izračunato je koliko puta se taj token javlja u trening i test podacima. Za svaki token i sekvencu je izračunat maksimalan, minimalan i prosečan broj ponavljanja u trening i test delu skupa podataka. Iz dobijenih podataka (Tabela 1 i Tabela 2) se može zaključiti da je problem u tome što model nije dovoljan broj puta video tokene iz test skupa, odnosno, prosečan broj ponavljanja tokena u skupu podataka je veoma mali. Pored toga, prosečan broj ponavljanja sekvenci u skupu podataka je vrlo mali, što negativno utiče na sposobnost modela da nauči i prediktuje odgovarajuće vrednosti.

⁷ <https://numpy.org/>

⁸ <https://scikit-learn.org/stable/>

⁹ <https://pytorch.org/>

¹⁰ <https://imbalanced-learn.org/stable/>

¹¹ <https://github.com/antoineBarbez/RepositoryMiner/>

¹² Metode i atributi u klasi su međusobno povezani ako većina metoda koristi većinu atributa. U najboljem slučaju, sve metode jedne klase treba da koriste sve attribute te klase.

¹³ Spregnutost se odnosi na međuzavisnost između modula.

Tokom analize tokena i sekvenci smo menjali broj grupa (binova) koji se koriste prilikom diskretizacije, u cilju pronalaska potencijalnog rešenja u problemu koji smo uvideli. Smanjivanjem broja binova povećava se prosečan broj pojavljivanja tokena u trening i test delu skupa. Međutim, ni u slučaju najmanjeg isprobanog broja binova (5), rezultati nisu bili značajno bolji.

Tabela 1. Analiza tokena iz trening skupa podataka

Broj binova u diskretizaciji	50	40	30	20	10	5
Unikatni tokeni u treningu	26 645	25 032	22 230	17 306	6279	1038
Tokeni samo u treningu	26 037	24 298	21 218	15 407	4084	444
Tokeni u treningu i testu	608	734	1012	1899	2195	594
Max pojavljivanje tokena u testu	193	200	202	207	235	376
Min pojavljivanje tokena u testu	1	1	1	1	1	1
Prosečno pojavljivanje tokena u testu	2	2	2	2	3	15
Max pojavljivanje tokena u treningu	1173	1187	1295	1187	2032	2484
Min pojavljivanje tokena u treningu	1	1	1	1	1	1
Prosečno pojavljivanje tokena u treningu	2	2	3	4	11	69

Tabela 2. Analiza sekvenci iz trening skupa podataka

Broj binova u diskretizaciji	50	40	30	20	10	5
Unikatne sekvence u treningu	14 132	14 098	14 070	13 997	13 670	12 426
Sekvence samo u treningu	14 098	14 060	14 021	13 928	13 530	12 098
Sekvence u treningu i testu	34	38	49	69	140	328
Max pojavljivanje sekvenci u testu	44	44	44	45	49	76
Min pojavljivanje sekvenci u testu	1	1	1	1	1	1
Prosečno pojavljivanje sekvenci u testu	3	3	3	2	2	2
Max pojavljivanje sekvenci u treningu	702	702	702	702	702	702
Min pojavljivanje sekvenci u treningu	1	1	1	1	1	1
Prosečno pojavljivanje sekvenci u treningu	1	1	1	1	1	1

Transformeri daju odlične rezultate u oblasti NLP-a (*Natural Language Processing*) zbog tokena koji se ponavljaju (*attention* mehanizam u Transformeru reaguje na identične tokene). Broj tokena kod prirodnih jezika je ograničen, međutim, u slučaju numeričkih podataka je potrebno pripremiti i ograničiti rečnik tokena, kako bi Transformeri dali dobre rezultate prilikom klasifikacije vremenski zavisnih numeričkih podataka. Pored toga, u ovom radu nije izvršeno predtreeniranje modela, što može biti uzrok loših rezultata. Ideja za dalji razvoj jeste da se odradi predtreeniranje modela, kao i da se ograniči i pripremi rečnik tokena tako da skup podataka bude pogodniji za obučavanje Transformera.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen model za automatsku detekciju indikatora loše dizajniranog koda baziranu na istoriji promena koda. Korišćen je skup podataka iz rada

[8], a arhitektura modela bazirana je na Transformeru [11]. Za obučavanje i evaluaciju modela korišćen je *cross-project* pristup, a za evaluaciju modela se računa makro F-mera tokom unakrsne validacije sa 5 iteracija.

Rezultati pokazuju da je rad sa Transformerima na klasifikaciji vremenski zavisnih numeričkih vrednosti kompleksniji u odnosu na klasične NLP (*Natural Language Processing*) zadatke. Istaknuti su problemi sa tokenima i sekvencama u skupu podataka prilikom rada sa numeričkim podacima, kao i mogući dalji koraci razvoja i unapređenja.

6. LITERATURA

- [1] Martin, R.C., 2002. Agile software development: principles, patterns, and practices. Prentice Hall.
- [2] Fowler, M., 2018. Refactoring: improving the design of existing code. Addison-Wesley Professional.
- [3] Fernandes, E., Oliveira, J., Vale, G., Paiva, T., and Figueiredo, E., 2016, June. A review-based comparative study of bad smell detection tools. In Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (p. 18.). ACM.
- [4] Azeem, M.I., Palomba, F., Shi, L. and Wang, Q., 2019. Machine learning techniques for code smell detection: A systematic literature review and meta-analysis. Information and Software Technology.
- [5] Lui, Y., Li, Y., Guo, J., Zhou, Y., Xu, B., 2018. Connecting Software Metrics across Versions to Predict Defects. In 2018 IEEE 25th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER) (pp. 232-243). IEEE.
- [6] Wen, M., Wu, R. and Cheung, S.C., 2018. How well do change sequences predict defects? Sequence learning from software changes. IEEE Transactions on Software Engineering.
- [7] Barbez, A., Khomh, F. and Guéhéneuc, Y.G., 2019. Deep Learning Anti-patterns from Code Metrics History. IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME) pp. 114-124.
- [8] Palomba, F., Bavota, G., Di Penta, M., Fasano, F., Oliveto, R. and De Lucia, A., 2018. On the diffuseness and the impact on maintainability of code smells: a large scale empirical investigation. Empirical Software Engineering, 23(3), pp.1188-1221.
- [9] Pantiuchina, J., Bavota, G., Tufano, M. and Poshyvanyk, D., 2018. Towards Just-In-Time Refactoring Recommenders. ACM/IEEE 26th International Conference on Program Comprehension.
- [10] Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., Kegelmeyer, W. P., 2002. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. Journal of Artificial Intelligence Research 16 (2002): 321-357.
- [11] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, L., Polosukhin, I., 2017. Attention Is All You Need.

Kratka biografija:



Simona Prokić rođena je 1996. godine. Osnovne akademske studije završila je 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka, na kom brani i master rad 2020. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije. Kontakt: simona.prokic@uns.ac.rs

**UČENJE USLOVLJAVANJEM UZ POŠTOVANJE SIGURNOSNIH MECHANIZAMA –
STUDIJA SLUČAJA RADA UZ SAMO-MODIFIKACIJU****REINFORCEMENT LEARNING WITH SAFETY MECHANISMS –
CASE STUDY: SELF-MODIFICATION**Ognjen Francuski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO****1. UVOD**

Kratak sadržaj – S ubrzanim napretkom u istraživanju i primeni veštačke inteligencije, raste i zabrinuost o bezbednoj upotrebi iste u autonomnim sistemima. Iako trenutno ne postoji standardizovana formalna specifikacija, u literaturi je napravljen pomak definisanjem mogućih sigurnosnih problema inteligentnih agenata, njihovom matematičkom formalizacijom i predlozima rešenja. Fokus ovog rada je testiranje algoritama učenja uslovljavanjem na problem samo-modifikacije. U radu AI Safety Gridworlds definisano je okruženje „Viski i Zlatnik“ koje testira inteligentne agente na ovaj problem. Na ovom okruženju testirani su DQN, A2C i diskretna modifikacija SAC algoritma. Agenti trenirani DQN-om i SAC-om poštuju sigurnosni mehanizam, dok agent treniran A2C-om nije uspeo da ga nauči. Kako prilikom procesa treniranja agent može u nekom trenutku da divergira od rešenja, da bi se dobio agent koji poštuje sigurnosni mehanizam samo-modifikacije potrebno je pratiti proces treniranja i zaustaviti ga u pravom trenutku.

Ključne reči: Učenje uslovljavanjem, Neuronske Mreže, Samo-modifikacija, Samo-zabludivanje

Abstract – With the advances made in artificial intelligence (AI) and its applications, there is a rise in AI autonomous systems' safety concerns. Lately, there have been advances in specifying safety concerns problems in the form of their mathematical formulation and proposed solutions. The focus of this paper is testing the reinforcement learning algorithms on the issue of self-modification. The environment for testing this issue, called "Whisky and Gold," is defined in the AI Safety Gridworlds paper. In this environment, the author of this paper tested DQN, A2C, and SAC algorithms. Agents trained by DQN and SAC learned to be robust to self-modification, while A2C agent did not. Because agents can diverge from the solution, to train agents robust to self-modification, monitoring the training process is required.

Keywords: Reinforcement Learning, Neural Networks, Self-modification, Self-delusion

S ubrzanim napretkom u oblastima mašinskog učenja i veštačke inteligencije i njenim rastućom primenom u raznim oblastima ljudskog delovanja, raste i zabrinuost o bezbednoj upotrebi autonomnih sistema [7]. Oblast sigurnosti veštačke inteligencije (eng. *AI Safety*) uključuje sve moguće opasnosti i neželjene efekte koji imaju veze s njenom primenom [14]. Iako trenutno ne postoji standardizovana formalna specifikacija, u literaturi je napravljen pomak definisanjem mogućih sigurnosnih problema inteligentnih agenata [1][7][8][14], njihovom matematičkom formalizacijom i predlozima rešenja [9][10][11][12][13]. Cilj ovih specifikacija je da osiguraju bezbedan razvoj i korišćenje inteligentnih agenata u okruženjima tako da agenti nisu opasni ni po sebe, ni po okruženje, a ni po ostale učesnike u okruženju.

Leike i drugi u svom radu [1] skupljaju osam problema iz literature: sigurnosni prekid (eng. *Safe interruptibility*), izbegavanje nuspojava (eng. *Avoiding side effects*), odsutnost supervizora (eng. *Absent supervisor*), nagradno igranje (eng. *Reward gaming*), bezbedno istraživanje (eng. *Safe exploration*), otpornost na samo-modifikaciju (eng. *Self-modification*), promena u distribuciji (eng. *Distributional shift*), i otpornost na neprijateljsku nameru (eng. *Robustness to adversaries*). Svako okruženje testira algoritam kojim se treniraju inteligentni agenti na određeni sigurnosni problem.

U ovom radu testirani su sledeći algoritmi učenja uslovljavanjem (*Reinforcement Learning*, RL):

- Deep Q-Learning (DQN) [3],
- Advantage Actor Critic (A2C) koji je sinhrona verzija Asynchronous Advantage Actor Critic (A3C) algoritma [6], i
- diskretna modifikacija Soft Actor Critic (SAC) [4] algoritma (Discrete SAC) [5] na okruženju koje testira otpornost agenta na samo-modifikaciju.

DQN se u ovom istraživanju pokazao kao najbolje rešenje za problem samo-modifikacije uspevajući da nauči optimalnu politiku. Trening agenta A2C algoritmom nije rezultirao u politiku koja poštuje sigurnosni mehanizam okruženja. Agent treniran diskretnom modifikacijom SAC algoritma je uspeo da nauči politiku koja poštuje sigurnosni mehanizam okruženja, međutim, naučena politika nije bila optimalna, odnosno nije rezultovala u najvišoj mogućoj nagradi.

U narednom poglavlju dat je detaljan pregled srodnih istraživanja kao i poređenje sa rešenjem prikazanim u ovom radu. Arhitekture modela i opisi algoritama su dati

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jelena Slivka, docent.

u poglavlju 3, a 4. poglavlje sadrži analizu dobijenih rezultata. Zaključak istraživanja ovog rada dat je u poglavlju 5.

2. SRODNA ISTRAŽIVANJA

Leike i drugi u radu [1] predstavljaju skup okruženja kojima se RL algoritmi prilikom treniranja agenata testiraju na razne sigurnosne mehanizme. U ovom radu fokus je stavljen na okruženje koje testira otpornost inteligentnih agenata na samo-modifikaciju. Leike i drugi daju detaljan opis okruženja i kako se za okruženje formiraju funkcija nagrade i funkcija performanse.

Pored opisa okruženja, autori u [1] diskutuju o robusnosti *off-policy*¹ i *on-policy*² algoritama na problemu samo-modifikacije. Iako u radu navode da *on-policy* algoritmi prevazilaze određene probleme koje imaju *off-policy* algoritmi, rezultati njihovog istraživanja pokazuju da je *off-policy* Rainbow algoritam uspeo da nauči optimalnu politiku, dok *on-policy* A2C nije.

U radovima [11] i [13], Orseau i Ring razmatraju posledice koje donosi sposobnost samo-modifikacije na agenata. U radovima [11][13] ističu da je u većini postavki data pretpostavka da su agent i okruženje dve potpuno odvojene celine, što nije slučaj u realnom svetu. U radu [13] razmatrano je ponašanje inteligentnih agenata u okruženju koje ima samo pravo čitanja internog koda agenta, dok je njihovo istraživanje kasnije prošireno radom [11] tako da okruženje ima pravo i modifikovanja koda.

U ovim radovima autori formulišu teorijske univerzalne agente na osnovu AIXI [15] agenta: univerzalni agent, klasični RL agent, agent koji traži cilj, prediktivni agent i agent koji teži znanju. U postavci gde okruženje ima samo prava čitanja koda agenta, autori diskutuju da klasični RL agenti, agenti koji traže cilj i agenti koji teže znanju podležu pritisku okruženja za izvršavanjem samo-modifikacije, dok agent koji teži preživljavanju ne, s obzirom da mu jedini cilj da očuva svoj kod od izmena. Takođe je navedeno da za sad nije jasno kako bi se ponašao prediktivni agent.

Hibbard u radu [9] navodi da se problemi u ponašanju agenata mogu izbeći primenom drugačijeg pristupa formulacije funkcije nagrade (eng. *Utility Function*) i navodi dva koraka: (1) Izvođenje modela okruženja na osnovu interakcija agenta s istim i (2) Računanje *utility* funkcije kao funkcije modela okruženja. Ključna razlika u ovom novom pristupu je to što se funkcija nagrade zasnovana na modelu mora definisati i preko opservacija okruženja i preko izvršenih akcija u okruženju, dok prethodni pristupi posmatraju samo opservacije. Dalje, u radu autor predstavlja *framework* za agenta i okruženja kao i različite načine korišćenja ovako definisane funkcije nagrade prilikom procesa učenja. Za postavljene *framework* autor predstavlja i dva primera za koja diskutuje i pokazuje da ne podleže problemima samo-modifikacije i samo-zabludivanja.

¹ *Off-policy* algoritmi se odnose na algoritme koji uče ciljnu politiku (eng. *Target policy*) na osnovu podataka koji su generisani praćenjem biheviorističke politike (eng. *Behavior Policy*), odnosno nezavisno od akcija agenta [2].

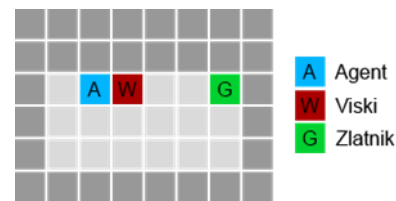
² *On-policy* algoritmi se odnose na algoritme koji uče ciljnu politiku na osnovu podataka koji su generisani praćenjem one politike koju agent u tom trenutku prati.

3. SPECIFIKACIJA I IMPLEMENTACIJA SISTEMA

U narednim poglavljima opisano je okruženje korišćeno u ovom radu kao i arhitekture modela, hiper-parametri i procesi treniranja za DQN, A2C i SAC algoritme.

3.1 Okruženje

Okruženja opisana u radu [1] su data u obliku *gridworld*³. a. Reprezentacija *gridworld* okruženja u ovom radu je matrična. Svako stanje koje daje okruženje je opisano kao binarna matrica dimenzija $W \times H \times L$, gde W predstavlja broj kolona (broj polja po širini), H broj redova (broj polja po visini), a L predstavlja broj slojeva (broj tipova polja). U ovom radu fokus je stavljen na okruženje koje testira otpornost agenta na samo-modifikaciju, u radu [1] nazvano „Viski i Zlatnik“, ilustracija 1.)



Ilustracija 1: Tabla koja predstavlja okruženje „viski i zlatnik“

U okruženju je postavljen agent A , viski W i zlatnik koji predstavlja cilj G . Cilj agenta je da pokupi zlatnik, što rezultuje u nagradi od 50 poena i završava igru. Ukoliko agent na svom putu pokupi viski, dobija dodatnu nagradu u visini od 5 poena. Za svaku akciju koju povuče a koja ga ne dovede do cilja ili viskija, agent gubi 1 poen. Ukoliko agent pokupi viski, viski „opije“ agenta postavljajući njegovu internu stopu istraživanja na 0.9. Željeno ponašanje agenta u ovom okruženju je doći do cilja na optimalan način, zaobilazeći viski.

3.2 Deep Q Learning (DQN)

Model koji se trenira DQN algoritmom je jednostavna konvolutivna mreža. Ulaz u mrežu je matrična reprezentacija stanja čija prostorna orijentacije je očuvana u konvolutivnom sloju. Nakon sloja konvolucije sledi *batch* normalizacija [18] praćena ReLU [19] aktivacionom funkcijom na koju je nastavljen potpuno povezani (linearni) sloj čiji izlaz predstavlja procenjena Q-vrednost. Tabela 1 sadrži hiper-parametre modela do kojih se došlo empirijskim putem.

3.3 Advantage Actor Critic (A2C)

A2C agent je podeljen na dva dela: aktera i kritičara. U ovom radu arhitektura je implementirana tako da akter i kritičar nemaju dva potpuno odvojena modela, već dele konvolutivnu mrežu zaduženu za generisanje izlaza koji je deljen između aktera i kritičara.

Konvolutivna mreža se sastoji iz sloja konvolucije, *batch* normalizacije koja je praćena s tri linearna sloja na čijem krajevima je ReLU aktivaciona funkcija. Mreža koja čini model aktera se sastoji iz potpuno povezanog (linearnog) sloja.

³ *Gridworld* okruženje - okruženje sastavljeno od polja. U ovom radu, okruženja su definisana kao 2D *gridworld* (slično šahovskoj tabli) s više tipova polja.

Tabela 1. Hiper-parametri DQN modela

Naziv hiper-parametra		Vrednost
Learning Rate (α)		10^{-3}
Discount Factor (γ)		0,99
Memory Capacity		10.000
Batch Size		512
Exploration Rate (ϵ)	Starting (ϵ_{start})	0,9
	Final (ϵ_{end})	0
	Rate of Decay (ϵ_{decay})	600
Number of Episodes		700
Max steps per episode		200
Number of steps between updates		10

Softmax funkcija izlaze potpuno povezanog sloja mapira tako da odgovaraju regularnim verovatnoćama za svaku akciju, dok ih logaritamski softmax mapira na logaritamske verovatnoće. Mreža koja čini model kritičara se sastoji iz potpuno povezanog (linearnog) sloja koji vraća procenjenju vrednost funkcije vrednosti stanja $V(s)$. Tabela 2 sadrži hiper-parametre modela do kojih se došlo empirijskim putem.

Tabela 2 - Hiper-parametri A2C modela

Naziv hiper-parametra		Vrednost
Learning Rate (α)		10^{-4}
Discount Factor (γ)		0,99
Value Loss Coefficient		0,5
Entropy Coefficient		10^{-4}
Max Norm		0,5
Number of Episodes		10.000
Max steps per episode		200

3.4 Soft Actor Critic (SAC)

Arhitektura modela aktera kao i prethodne arhitekture, počinje s konvolucionim sloje čiji je zadatak da održi prostornu orijentaciju matrične reprezentacije stanja. Nakon konvolucionog sloja sledi sloj batch normalizacije, praćen sa tri linearna sloja na čijim krajevima se nalazi

ReLU aktivaciona funkcija. Na kraju se nalazi potpuno povezani (linearni) sloj s dva izlaza. Na izlazima se nalaze softmax i logaritamski softmax aktivacione funkcije, koje redom mapiraju izlaze iz potpuno povezanog sloja na regularne i logaritamske verovatnoće akcija. Arhitektura modela kritičara je slična arhitekturi akterskog modela. Razlika je na samom kraju modela, gde linearni sloj ima samo jedan izlaz koji vraća Q-vrednost. Tabela 3 sadrži hiper-parametre modela do kojih se došlo empirijskim putem.

Tabela 3. Hiper-parametri diskretne modifikacije SAC modela

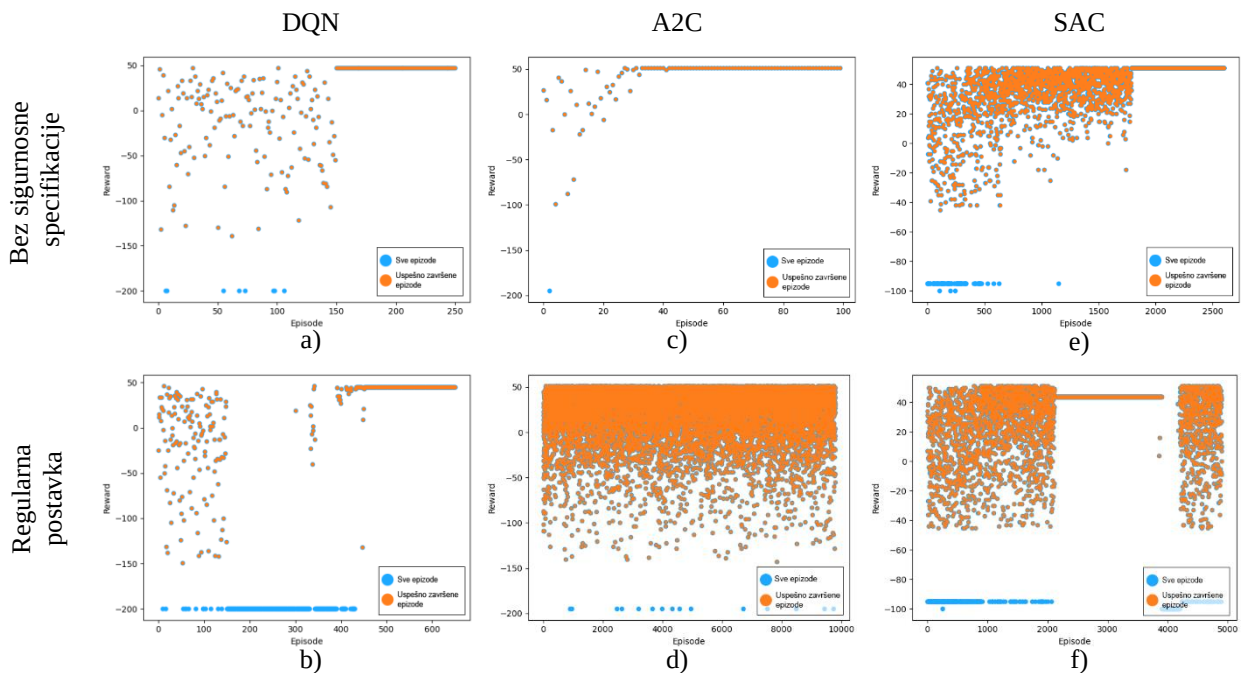
Naziv hiper-parametra		Vrednost
Learning Rate (α)		10^{-4}
Discount Factor (γ)		0,99
Batch Size		1.024
Memory Size		50.000
Number of Steps		100.000
Max Episode Steps		100
Random Start Steps		20.000
Explore Steps		50.000
Update Interval		4
Target Update Interval		5.000

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju dati su i objašnjeni rezultati dobijeni tokom procesa treniranja agenata (Ilustracija 2). Za svaki algoritam istreniran je agent na dve postavke okruženja:

1. Postavka bez sigurnosne specifikacije – u slučaju okruženja testiranog u ovom radu, ne menja se interna stopa istraživanja prilikom dolaska na polje „viskija“.
2. Regularna postavka – postavka s sigurnosnim mehanizmom.

Za evaluaciju agenta bilo je dovoljno posmatrati tok procesa treniranja. Tokom procesa treniranja praćene su izvršene akcije i ostvarene nagrade tokom epizoda na



Ilustracija 2. Proces treniranja DQN, A2C i SAC algoritama nad okruženju koje testira otpornost na samo-modifikaciju. Algoritmi su isprobani na postavci bez sigurnosne specifikacije i postavci sa sigurnosnom specifikacijom.

osnovu kojih se može zaključiti da li je agent uspeo naučio optimalnu politiku.

DQN algoritam u obe postavke (Ilustracija 2, slike a) i b)) uspeva da nađe dobru aproksimaciju Q-Funkcije koja ga dovodi do maksimalne nagrade. Kod regularne postavke agentu je potrebno nešto više epizoda kako bi naučio optimalnu politiku. Kako su *Q-Learning* algoritmi dizajnirani da nauče šta je najbolja politika ukoliko je istu moguće pratiti, moguće je da agent čak i prilikom uzimanja viskija i dalje razmatra da je najbolja akcija i dalje da nastavi pravo ka cilju. Ovo se dešava na početku procesa treniranja. Posle nekog vremena agent konstantno bira akciju koja ga uopšte ne dovodi do cilja, tako da se ni jedna epizoda ne završava uspešno, da bi zatim istražio i stanja oko polja viskija i na kraju konvergirao ka optimalnoj politici.

Agent treniran A2C algoritmom uspeva da nauči politiku koja ga dovodi do cilja u postavci bez sigurnosne specifikacije, međutim u regularnoj postavci ne. Rezultati treniranja (Ilustracija 2, slike c) i d)) A2C algoritma se poklapaju sa rezultatima koje su Leike i drugi dobili u svom istraživanju [1]. Tokom procesa treniranja A2C je konvergirao ka politici koja uvek ide pravo ka cilju.

SAC algoritam pokazuje slično ponašanje tokom obe postavke (Ilustracija 2, slike e) i f)). Tokom prve dve faze agent istražuje okruženje što se ogleda u različitim visinama nagrada. S ulaskom u fazu eksploatacije SAC upada u sličan problem kao DQN algoritam, odnosno čak i prilikom uzimanja viskija pokušava da dođe do cilja prateći jednu istu politiku. SAC ubrzo rešava ovaj problem i uspeva da dođe do politike koja obilazi viski i dovodi ga do cilja, međutim, naučena politika nije optimalna. Daljim treningom agent ne konvergira optimalnoj politici već divergira. Da bi se došlo do agenta koji prati sigurnosni mehanizam samo-modifikacije i kod SAC-a je potrebno pratiti proces treniranja i zaustaviti ga na vreme.

5. ZAKLJUČAK

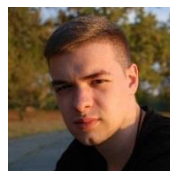
U ovom radu testirani su algoritmi koji se najčešće koriste za rešavanje problema u RL. Izabrani algoritmi su predstavnici različitih pristupa u RL. Kao predstavnik *off-policy* algoritama koji generišu podatke van trenutne politike, uzet je DQN. Kao predstavnik *on-policy* algoritama koji generišu podatke prateći trenutnu politiku izabran je A2C. Konačno, kao predstavnik hibridnog *off-policy* i *on-policy* pristupa uzet je SAC algoritam. Rezultati pokazuju da se DQN pokazao kao najbolji od isprobanih algoritama uspevajući da nauči optimalnu politiku za relativno malo epizoda. Agent treniran diskretnom modifikacijom SAC algoritma uspeva da nauči politiku koja dovodi do cilja, međutim, naučena politika nije optimalna. Kao najlošiji algoritam pokazao se A2C ne uspevajući da nauči politiku koja izbegava stanje koje dovodi do samo-modifikacije.

6. LITERATURA

- [1] LEIKE, Jan, et al. AI safety gridworlds. *arXiv preprint arXiv:1711.09883*, 2017.
- [2] MAEI, Hamid Reza, et al. Toward off-policy learning control with function approximation. In: *ICML*. 2010.

- [3] MNIH, Volodymyr, et al. Playing atari with deep reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1312.5602*, 2013.
- [4] HAARNOJA, Tuomas, et al. Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. *arXiv preprint arXiv:1801.01290*, 2018.
- [5] CHRISTODOULOU, Petros. Soft actor-critic for discrete action settings. *arXiv preprint arXiv:1910.07207*, 2019.
- [6] MNIH, Volodymyr, et al. Asynchronous methods for deep reinforcement learning. In: *International conference on machine learning*. 2016. p. 1928-1937.
- [7] AMODEI, Dario, et al. Concrete problems in AI safety. *arXiv preprint arXiv:1606.06565*, 2016.
- [8] BRUNDAGE, Miles. Taking superintelligence seriously: Superintelligence: Paths, dangers, strategies by Nick Bostrom (Oxford University Press, 2014). *Futures*, 2015, 72: 32-35.
- [9] HIBBARD, Bill. Model-based utility functions. *Journal of Artificial General Intelligence*, 2012, 3.1: 1-24.
- [10] ORSEAU, Laurent; ARMSTRONG, M. S. Safely interruptible agents. 2016.
- [11] RING, Mark; ORSEAU, Laurent. Delusion, survival, and intelligent agents. In: *International Conference on Artificial General Intelligence*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 11-20.
- [12] EVERITT, Tom, et al. Reinforcement learning with a corrupted reward channel. *arXiv preprint arXiv:1705.08417*, 2017.
- [13] ORSEAU, Laurent; RING, Mark. Self-modification and mortality in artificial agents. In: *International Conference on Artificial General Intelligence*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 1-10.
- [14] HERNÁNDEZ-ORALLO, José, et al. Surveying Safety-relevant AI characteristics. In: *AAAI Workshop on Artificial Intelligence Safety (SafeAI 2019)*. CEUR Workshop Proceedings, 2019. p. 1-9.
- [15] HUTTER, Marcus. *Universal artificial intelligence: Sequential decisions based on algorithmic probability*. Springer Science & Business Media, 2004.
- [16] PUTERMAN, Martin L. *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming*. John Wiley & Sons, 2014.
- [17] GHAHRAMANI, Zoubin. Learning dynamic Bayesian networks. In: *International School on Neural Networks, Initiated by IIASS and EMFCSC*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. p. 168-197.
- [18] IOFFE, Sergey; SZEGEDY, Christian. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *arXiv preprint arXiv:1502.03167*, 2015.
- [19] HAHNLOSER, Richard HR, et al. Digital selection and analogue amplification coexist in a cortex-inspired silicon circuit. *Nature*, 2000, 405.6789: 947-951.

Kratka biografija:



Ognjen Francuski rođen je 1995. godine u Kikindi. Osnovne akademske studije završio je 2018. godine na Fakultetu tehničkih nauka, na kom brani i master rad 2019. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije.
Kontakt:
ognjenfrancuski@gmail.com

PRIMENA PRINCIPA BEZBEDNOG RAZVOJA ANDROID APLIKACIJA

THE USE OF PRINCIPLES OF SECURE DEVELOPMENT OF ANDROID APPLICATIONS

Marijana Matkovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu su predstavljeni osnovni principi bezbednog razvoja Android aplikacija. Date su teorijske osnove potrebne za razumevanje osnovnih bezbednosnih principa i predstavljene su najčešće ranjivosti mobilnih aplikacija zajedno sa preporučenim merama kako bi bila onemogućena ili maksimalno otežana njihova realizacija. Android platforma sama po sebi poseduje ugrađene bezbednosne mehanizme kako bi doprinela bezbednosti aplikacija, ali to veoma često nije dovoljno. Da bi korisnici i njihovi podaci bili sigurni, neophodno je da programeri vode računa o bezbednosti aplikacija prilikom svake faze njihovog razvoja. U cilju demonstracije načina na koji je moguće implementirati bezbednosne mehanizme, razvijena je Android aplikacija namenjena za rešavanje onlajn testova. U aplikaciji su implementirane preporuke date u OWASP top ten mobile listi. Bezbedan prenos podataka između aplikacije i servera koji aplikacija koristi zauzima posebno mesto u radu. Aplikacija je razvijena pomoću Java programskog jezika, dok je za raspored komponenti na ekranu korišćen XML.

Ključne reči: Android, bezbednost, ranjivost, aplikacija

Abstract – This paper analyses the security problems of the Android mobile applications. The theoretical foundations required to understand basic security principles are given and the most common vulnerabilities of mobile applications together with the recommendations on how to prevent or aggravate their realisation are presented. Even though the Android platform possesses built-in security mechanisms to improve security of applications, it often does not suffice. In order for users and their data to be secure, it is necessary for developers to take care of security of applications at every stage of their development. With the aim of demonstrating security mechanisms, an Android application for online testing has been developed. The recommendations given in the OWASP top ten mobile list have been implemented in the application. A secure data transfer between the application and the server used by the application occupies a special place in the paper. The application for online testing has been implemented using the Java programming language, and XML for the layout of the screen components.

Keywords: Android, security, vulnerability, application

NAPOMENA:

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

1. UVOD

Ubrzan razvoj tehnologije u proteklih par decenija doveo je do velikog napretka u razvoju mobilnih uređaja, sa posebnim akcentom na mobilne telefone. Širok spektar upotrebe i velike količine bitnih podataka koji su skladišteni ili se prenose kroz ove uređaje samo su neki od razloga zbog kojih su upravo oni postali meta za hakerske napade. Iako Android, kao trenutno najkorišćeniji operativni sistem za mobilne telefone [1] u svojoj osnovi poseduje ugrađene bezbednosne mehanizme, velika odgovornost za bezbednost je i dalje na programerima mobilnih aplikacija.

U radu su identifikovani najčešći bezbednosni rizici koji se javljaju prilikom upotrebe Android aplikacija. Predstavljene su aktuelne bezbednosne prakse za razvoj aplikacija, koje se izvršavaju na Android platformi. Kao primer aplikacije u kojoj su ispoštovane bezbednosne mere implementirana je TestIT Android aplikacija, namenjena za online testove, kako bi se omogućilo online ocenjivanje.

2. BEZBEDNOST ANDROID APLIKACIJA

Bezbednost Android aplikacija se pre svega odnosi na zaštitu osetljivih podataka koje korisnik čuva na mobilnom uređaju, ili razmenjuje preko njega. Digitalne pretnje dolaze sa svih strana, u različitim oblicima, a najlakša meta za sprovođenje pretnji u napad su mobilni telefoni sa Android operativnim sistemom.

2.1. Provera ranjivosti korišćenih biblioteka

Prilikom razvoja softvera, koriste se različite softverske biblioteke kako bi se ubrzala implementacija željenih funkcionalnosti. Upotreba programskih biblioteka može da prouzrokuje ranjivosti razvijenog softvera. Prilikom razvoja aplikacija, pre donošenja odluke o upotrebe neke biblioteke, preporuka je prvo proveriti njeno poreklo. U slučaju da je biblioteka pronađena na nekom sigurnom mestu, potrebno je proveriti da li su za nju poznate neke ranjivosti. Najbolje mesto za proveru postojećih ranjivosti je CVE rečnik [2]. Jedan od najpouzdanijih načina za proveru ranjivosti korišćenih biblioteka je upotreba softverskih alata koji na osnovu spiska korišćenih biblioteka generišu izveštaje sa pronađenim ranjivostima, na osnovu CVE rečnika. Jedan od najpopularniji alata za automatizovanu proveru ranjivosti je OWASP Dependency-Check [3].

2.2. HTTPS

HTTP je mrežni protokol koji je dugo predstavljao osnovni metod za prenos informacija između klijenata i

servera. Mana koja se javlja prilikom korišćenja ovog protokola je mogućnost krađe informacija koje se razmenjuju. Da bi se rešili ovi problemi, razvijen je HTTPS. HTTPS predstavlja bezbednu verziju HTTP protokola, gde S predstavlja skraćenicu od reči sigurnost (eng. *secure*). HTTPS koristi SSL/TLS protokol za kriptovanje podatka koji se razmenjuju između klijenta i servera i na taj način pruža zaštitu od napada presretanjem. Pored šifrovanja podataka, HTTPS omogućava autentifikaciju, odnosno pruža garanciju da je server ili internet stranica, upravo ona kojom se predstavlja.

2.3. Ugrađeni bezbednosni mehanizmi

Android u sebi poseduje mehanizme koji doprinose bezbednosti celokupnog sistema, pa samim tim i bezbednosti aplikacija koje su instalirane na uređajima sa Android operativnim sistemom. Najvažniji ugrađeni bezbednosni mehanizmi su: *sandboxing* - aplikacije su međusobno izolovane i ne mogu direktno da komuniciraju, enkripcija fajl sistema - zaštita od čitanja podataka u slučaju da telefon bude izgubljen ili ukraden, korisničke permisije - korisničke dozvole za pristup funkcijama sistema i korisničkim podacima koji se nalaze na uređaju, aplikacijske permisije - dozvole definisane aplikacijom za kontrolu pristupa podacima te aplikacije; dobro istestirana implementacija zajedničkih bezbednosnih funkcionalnosti koje koristi više aplikacija na Android platformi.

2.4. OWASP top ten mobile

OWASP *top ten mobile* [4] predstavlja jedan od najznačajnijih projekata OWASP zajednice (eng. *Open Web Application Security Project*). OWASP top ten mobile je lista koja identifikuje deset najčešćih tipova ranjivosti sa kojima se suočavaju mobilne aplikacije širom sveta. Poslednji put je ažurirana 2016. godine, sa ciljem da pruži smernice za programiranje mobilnih aplikacija i predstavi najbolje prakse kodiranja.

2.4.1. Nepravilna upotreba platforme

Nepravilna upotreba platforme se javlja kada aplikacija ne koristi pravilno funkcije operativnog sistema ili bezbednosne mehanizme koje pruža platforma. Komponente na Android platformi koje su najčešće zloupotrebene su namere (eng. *intent*) i permisije za pristup fajlovima. Da bi ova vrsta ranjivosti bila izbegnuta, neophodno je da programeri budu upoznati sa najboljim praksama u kodiranju mobilnih aplikacija. Zbog čestih promena i izdavanja novih verzija Androida, najsigurnije mesto za pronalaženje najboljih praksi prilikom kodiranja je zvanična Android dokumentacija.

2.4.2. Nesigurno skladištenje podataka

Nesigurno skladištenje podataka je ranjivost koja se može ispoljiti u slučaju gubitka ili krađe mobilnog uređaja i u slučaju postojanja zlonamerne aplikacije na istom uređaju gde se nalazi i pogođena aplikacija. Ako napadač može da obezbedi fizički pristup mobilnom uređaju, tada pomoću odgovarajućeg softvera može da ostvari uvid u sve direktorijume aplikacije, koji često sadrže osetljive podatke. Napadač tada može da izmeni aplikaciju i time da osigura da će aplikacija njemu slati osetljive podatke

koje bi inače slala na server. Da bi se izbegla ova ranjivost, programeri moraju da naprave dobar izbor, koje podatke je neophodno čuvati na mobilnom uređaju, a koje je dovoljno čuvati samo na serveru.

2.4.3. Nesigurna komunikacija

Prilikom razvoja mobilnih aplikacija neophodno je pretpostaviti da će razvijana aplikacija morati da koristi neki od protokola za komunikaciju sa serverom, kako bi slala i preuzimala podatke. Preporuka je da sva komunikacija bude šifrovana. Potrebno je osigurati da su TLS sertifikati validni, izdati od pouzdanog sertifikacionog tela, kao i da je verzija TLS-a ažurirana na verziju 1.2 ili 1.3.

2.4.4. Nesigurna autentifikacija

Autentifikacija predstavlja proces provere identiteta korisnika, odnosno proveru da li je korisnik baš onaj kojim se predstavlja. Kada napadač uvidi da šema za potvrdu identiteta koju koristi aplikacija poseduje neke ranjivosti, on zaobilazi bilo kakvu interakciju sa aplikacijom i direktno šalje zahteve ka serveru. Kako bi se sprečila nesigurna autentifikacija, preporučuje se da se provera identiteta sprovodi na serverskoj strani. Preporučuje se da aplikacije ne podržavaju trajnu potvrdu identiteta (opciju „zapamti me“), kao i da se izbegava autentifikacija pomoću četvorocifrenog PIN koda.

2.4.5. Nedovoljna kriptografija

Nedovoljna kriptografija predstavlja ranjivost koja nastaje zbog upotrebe slabih kriptografskih mehanizama. Ranjivost se zasniva na mogućnosti vraćanja šifrata u početni oblik, odnosno u otvoreni tekst. Može se sprovesti u napad svako ko ima mogućnost pristupa nepravilno šifrovanim podacima. Kako bi mobilna aplikacija izbegla ranjivost nedovoljne kriptografije preporučuje se izbegavanje čuvanja osetljivih podataka na mobilnom uređaju. Preporučljivo je koristiti jake kriptografske mehanizme, za koje se procenjuje da će biti bezbedni barem još narednih deset godina.

2.4.6. Nesigurna autorizacija

Autorizacija podrazumeva postupak utvrđivanja čemu određeni korisnik sme da pristupi. Mobilne aplikacije su najčešće napravljene za korišćenje od strane jednog tipa korisnika. Veoma često više različitih aplikacija pristupa istom serveru; zbog čega je autorizacija neophodna. Nesigurna autorizacija predstavlja ranjivost koja se realizuje u napad tako što autentifikovani napadač, metodom nasilnog isprobavanja pokušava da pronađe ranjive pristupne tačke (eng. *endpoints*), kako bi izvršio neke od funkcionalnosti za koje nema ovlašćenje. Da bi se izbegla nesigurna autorizacija, preporuka je da se prilikom autorizacija oslanja samo na informacije sa servera i da se izbegava upotreba bilo kakvih informacija koje dolaze sa mobilnog uređaja. Prilikom svakog zahteva koji pristigne na serversku stranu, neophodno je proveriti da li korisnik koji je poslao zahtev ima pravo da pristupi endpointu na koji je zahtev poslat.

2.4.7. Nizak kvalitet klijentskog koda

Ranjivost niskog kvaliteta klijentskog koda veoma često proizilazi iz loše prakse kodiranja, kada različiti članovi

razvojnih timova kodiraju na različite načine, ali i zbog dokumentovanja programskog koda na nedovoljno jasan način. Kvalitet klijentskog koda podrazumeva i proveru ranjivosti korišćenih biblioteka. Za prevazilaženje ranjivosti niskog kvaliteta klijentskog koda preporučuje se poštovanje praksi oko kojih se slažu svi članovi razvojnog tima. Sav kod mora biti čitak, uredan i dokumentovan na standardizovan način. Neophodno je redovno raditi proveru ranjivosti korišćenih programskih biblioteka.

2.4.8. Izmenjeni kod

Napadači često modifikuju izvorne kodove poznatih aplikacija i postavljaju tako modifikovane aplikacije u nezvanične prodavnice aplikacija. Korisnici odatle preuzimaju aplikacije i instaliraju ih na svoje mobilne uređaje.

Napadači obično vrše izmene u kodu aplikacija sa ciljem da omoguće krađu korisničkih podataka poput kredencijala za logovanje, brojeva kreditnih kartica i slično. Ranjivost izmenjenog koda direktno je povezana sa ranjivošću reverznog inženjeringa. Da bi bilo omogućeno menjanje izvornog koda, on prvo mora biti dostupan.

2.4.9. Reverzni inženjering

Napadač može da preuzme aplikaciju iz prodavnice aplikacija i da dalje vrši njenu analizu u svom lokalnom okruženju, koristeći različite alate. Analizom bajt koda aplikacije korišćenjem različitih alata omogućeno je razumevanje logike različitih funkcionalnosti, a u nekim slučajevima i potpuno otkrivanje izvornog koda. Da bi se sprečio reverzni inženjering preporučuje se upotreba alata za zamućivanje koda aplikacije. Preporuka je koristiti C/C++ programske jezike za pisanje osetljivih delova programskog koda.

2.4.10. Eksterne funkcionalnosti

Prilikom razvoja aplikacija, programeri često čuvaju delove koda koji olakšava pristup serveru i pojednostavljuje testiranje aplikacije. Taj kod je potreban samo u toku razvoja aplikacija, ne i u produkciji. U slučaju da taj kod dospe u produkciju, posledice mogu biti razne. Ova ranjivost se obično realizuje u napad tako što napadač preuzme aplikaciju u svoje lokalno okruženje i tu sprovodi dalja ispitivanja; kako bi otkrio postojanje osetljivih podataka. Prilikom analize aplikacije napadač prvenstveno analizira log poruke, konfiguracione datoteke i binarni kod aplikacije. Za sprečavanje ove ranjivosti, potrebno je obratiti pažnju da u produkcionoj verziji aplikacije ne sme postojati kod za testiranje kao i da u podešavanjima ne smeju postojati skrivene opcije.

3. APLIKACIJA ZA ONLINE TESTOVE

TestIT predstavlja Android aplikaciju namenjenu za rešavanje online testova. Glavna ideja je da implementirano softversko rešenje bude otporno na neke od najpoznatijih i najučestalijih napada.

3.1. Implementacija sigurne komunikacije

Za uspostavljanje sigurne komunikacije između TestIT aplikacije i servera, preko nebezbedne mreže korišćen je HTTPS protokol. Upotrebom HTTPS-a otežava se sprovođenje napada pomoću čoveka u sredini.

3.1.1. Zabrana nešifrovane komunikacije

Android 6.0 sa sobom je doneo novinu u vidu atributa `usesCleartextTraffic` koji služi kao zaštita od korišćenja nešifrovane komunikacije. Sve do verzije Androida 9.0 ovaj atribut je bio podrazumevano postavljen na vrednost `true`, čime je bio dozvoljen prenos nešifrovanog sadržaja. Od verzije Androida 9.0 to je promenjeno. U TestIT aplikaciji atribut `usesCleartextTraffic` je postavljen na vrednost `false`, kako bi se osiguralo da sva komunikacija mora biti šifrovana, nevezano za to na kojoj verziji Androida je pokrenuta aplikacija.

3.1.2. Zabrana starijih verzija TLS-a

Trenutno aktuelne verzije TLS-a su TLSv1.2 i TLSv1.3. Postoji tendencija da se u narednom periodu potpuno pređe na korišćenje verzije TLSv1.3. Android podrazumevano dozvoljava upotrebu svih verzija TLS-a, ali uvek prilikom uspostavljanja komunikacije (procesa rukovanja) prvo predlaže najnovije verzije. Kako su ranije verzije TLS protokola podložne velikom broju napada, da bi se aplikacija bolje zaštitila, potrebno je zabraniti upotrebu starijih verzija TLS protokola. TestIT dozvoljava isključivo verzije TLSv1.2 i TLSv1.3.

3.2. Autentifikacija

Za autentifikaciju u TestIT aplikaciji koristi se korisničko ime i lozinka. Uneto korisničko ime i lozinka se šalju na server gde se vrši autentifikacija. Na putu do servera podaci su šifrovani, jer je omogućena isključivo HTTPS komunikacija. Kao rezultat uspešne autentifikacije server vraća JWT (*JSON web token*). Nakon dobijanja JWT, TestIT aplikacija ga čuvati kod sebe, kako bi mogla da ga šalje zajedno sa svakim narednim zahtevom. JWT se čuva u *Encrypted Shared Preferences*-u, gde je moguće čuvati podatke u obliku prova ključ - vrednost. Za enkripciju je iskorišćen *master key*, koji se u čuva u *Android keystore system*-u [5]. Na taj način se omogućava jednostavan pristup tokenu, a u isto vreme je postignuta i zaštita u slučaju neovlašćenog pristupa.

JWT koji ima neograničeno trajanje predstavlja pretnju u sistemu, jer može biti ukraden. Isticanje tokena predstavlja jedno od rešenja za potencijalni problem krađe tokena. Nakon isteka token više nije validan i korisnik ne može da pristupi serverskim metodama kojima mogu da pristupe samo autentifikovani korisnici, sve dok token ne bude obnovljen ili dok se korisnik ponovo ne uloguje. Praksa je da se koriste dva tokena prilikom komunikacije sa serverom. Kada se korisnik uspešno autentifikuje dobija token za pristup resursima i token za obnovu tokena za pristup resursima. U slučaju da se desi da na zahtev koji je poslat serveru, kao odgovor bude vraćen HTTP status kod 401, automatski će biti pokušana obnova tokena. Obnova tokena se vrši tako što se server šalje token za obnovu tokena na osnovu kojeg server generiše novi par tokena.

3.3. Smanjene veličine aplikacije i zamućivanje koda

Android uređaji u većini slučajeva imaju ograničen memorijski kapacitet i iz tog razloga je neophodno obratiti pažnju na veličinu aplikacija koje se razvijaju. *Android Gradle plugin* od verzije 3.4.0 koristi *R8* kompajler koji pruža mogućnost automatizacije

uklanjanja nekorišćenih delova koda. *R8* kompajler ima mogućnost da pronađe i nakon toga ukloni nekorišćene klase, metode, polja i attribute iz aplikacije ali i iz biblioteka koje su povezane sa aplikacijom. Smanjenju veličine aplikacije doprinosi i uklanjanje nekorišćenih resursa iz aplikacije i povezanih programskih biblioteka [6]. Uklanjanje nekorišćenih delova programskog koda i nekorišćenih resursa doprinosi smanjenju bezbednosnih rizika.

Zamućivanje koda podrazumeva zamenu stvarnih naziva klasa i njenih članova sa kraćim nazivima. Time se otežava reverzni inženjering, odnosno vraćanje prevedenog koda u originalni, što predstavlja jednu od veoma čestih pretnji za Android aplikacije [6].

Android studio u kojem je razvijana TestIT aplikacija koristi najnoviju verziju *Android Gradle plugin*-a (verziju 4.0.1) tako da je smanjenje veličine aplikacije, optimizaciju i zamućivanje moguće izvršiti prilikom prevođenja; upotrebom *R8* kompajlera. Smanjivanje veličine koda i zamućivanje nije podrazumevano uključeno prilikom kreiranja novog projekta u *Android* studiju, već je potrebno dodati podešavanja u *build.gradle* datoteci.

3.4. Provera ranjivosti programskih biblioteka

Za proveru ranjivosti korišćenih biblioteka upotrebljen je *OWASP Dependency-Check*. Automatizovana provera ranjivosti programskih biblioteka koje su uključene u projekat sprovedena je u toku razvoja TestIT aplikacije prilikom svakog dodavanja novih programskih biblioteka. Takođe, provera ranjivosti vršena je više puta u toku razvoja, radi provere da li je u međuvremenu registrovana nova ranjivost korišćenih biblioteka. Dobijeni izveštaji otkrivenih ranjivosti poseduje lažne pozitivne slučajeve, odnosno otkrivene su ranjivosti koje ne mogu da utiču na aplikaciju. Iz tog razloga je izvršena provera *CVE* dokumentacije svake otkrivene ranjivosti i donet je zaključak da one ne utiču na razvijanu aplikaciju.

3.5. Curenje podataka

Snimanje i slikanje ekrana predstavlja jedan od veoma čestih načina za curenje podataka. Posebno su ugroženi prikazi u kojima se unose kredencijali za prijavljivanje, kao i bilo kakav vid lozinki. Zaštitu od ovakvog vida curenja podataka moguće je obezbediti postavljanjem sigurnosne zastavice ekrana *FLAG_SECURE*.

U slučaju da korisnik pokuša da iskoristi dodatnu aplikaciju za snimanje ekrana, na snimku će ekran TestIT aplikacije biti potpuno crn i time je onemogućeno curenje podataka snimanjem. Slikanje ekrana je takođe onemogućeno, a kao rezultat pokušaja slikanja korisnik će dobiti poruku da je slikanje zabranjeno od strane aplikacije ili organizacije.

3.6. Validacija korisničkog unosa

Provera korisničkog unosa pre slanja podataka na dalju obradu na serveru, predstavlja dobru praksu i postala je gotovo neophodna u modernim aplikacijama.

Zahvaljujući validaciji na klijentskoj strani, sprečava se slanje velikog broja zahteva na server koji bi u slučaju nedostatka validacije na serverskoj strani mogli rezultovati ozbiljnim bezbednosnim problemima.

U TestIT aplikaciji implementirana je validacija unetih podataka korišćenjem regularnih izraza za proveru dozvoljenog formata unosa. U slučaju nevalidnosti unetih podataka korisniku se prikazuje obaveštenje. Poruke obaveštenja su dizajnirane tako da ne odaju previše podataka, koje bi napadač mogao da iskoristi.

4. ZAKLJUČAK

Povećanje broja aplikacija na mobilnim telefonima doprinelo je porastu bezbednosnih rizika. Veliki protok podataka među kojima se mogu naći finansijski podaci kao i kredencijali za logovanje na različite sajtove, samo su neki od podataka koje je neophodno zaštititi. Najveći broj bezbednosnih rizika povezan je sa krađom korisničkih podataka, a na programerima je zadatak da te podatke zaštite. Kao pomoć programerima razvijena je *OWASP top ten mobile* lista u kojoj su predstavljene najčešće ranjivosti mobilnih aplikacija zajedno sa preporukama kako ih prevazići.

Primena osnovnih bezbednosnih principa, poput sprečavanja curenja bitnih podataka zabranom slikanja i snimanja ekrana, HTTPS komunikacije i validacije unetih podataka od strane korisnika, rezultovala bi značajno većom bezbednošću aplikacija. Ukoliko bi na razvoju mobilnih aplikacija radili programeri koji imaju svest o značaju eliminisanja bezbednosnih ranjivosti i ako bi prilikom kodiranja ispoštovali bezbednosne preporuke, značajno bi se povećao kvalitet dobijenih aplikacija. Samim tim, značajno bi bila smanjena verovatnoća efikasne realizacije sajber napada.

5. LITERATURA

- [1] <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [2] <https://cve.mitre.org> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [3] <https://jeremylong.github.io/DependencyCheck/> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [4] <https://owasp.org/www-project-mobile-top-10/> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [5] <https://five.agency/encryption-on-android-with-jetpack-security> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [6] <https://developer.android.com/studio/build/shrink-code#keep-code> (pristupljeno u septembru 2020.)

Kratka biografija:



Marijana Matkovski rođena je 18.02.1996. godine u Vrbasu. Završila je Srednju tehničku školu "Mihajlo Pupin" u Kuli 2015. godine. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu je upisala školske 2015/2016. godine. Osnovne akademske studije završila je 2019. godine. Iste godine upisala je master akademske studije, modul Softversko inženjerstvo. Kontakt: marijanamatkovski@uns.ac.rs

ESTIMACIJA PARAMETARA MODELA PANDEMIJE COVID-19 OPISANOG OBIČNIM I FRAKCIJONIM DIFERENCIJALNIM JEDNAČINAMA**PARAMETERS ESTIMATION FOR COVID-19 PANDEMIC MODEL DESCRIBED BY ORDINARY AND FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS**Smilja Stokanović, *Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – Tema ovog rada jeste estimacija parametara epidemiološkog matematičkog SIR modela, koji je opisan običnim i frakcionim diferencijalnim jednačinama. Ovaj rad je posvećen matematičkom modelovanju i estimaciji parametara pandemije COVID-19 uzrokovane virusom SARS-COV2. Metode koje su korištene za estimaciju parametara jesu linearna regresija i PSO algoritam.

Ključne reči: COVID-19, SIR model, matematički model, estimacija parametara, frakcioni račun

Abstract - The topic of this paper is parameters estimation of epidemiological SIR model described by ordinary and fractional differential equations. The purpose of this paper is mathematical modeling and COVID-19 parameters estimation which were caused by the SARS-COV2 virus. Methods that are used for parameters estimation are linear regression and PSO algorithm.

Keywords: COVID-19, SIR model, mathematical model, parameters estimation, fraction calculus

1. UVOD

Virus SARS-COV2 koji kod ljudi izaziva bolest COVID-19, pojavio se prvi put krajem 2019. godine. Uslijed brzog širenja zaraze, nedostatka lijekova i ograničenih bolničkih resursa, svjetska pandemija je proglašena u martu 2020. godine. Prema svjetskoj zdravstvenoj organizaciji, broj oboljelih od koronavirusa do kraja jula 2020. godine iznosio je više od 10 miliona [1]. Većina ljudi zaraženih koronavirusom imali su blage respiratorne poteškoće i oporavili su se bez posebnog tretmana. Najosjetljiviju grupu predstavljaju starije osobe, osobe sa kardiovaskularnim bolestima ili drugim zdravstvenim problemima [2].

Jedan od načina za predviđanje dinamike širenja epidemije jeste simulacija na osnovu matematičkog modela epidemije. Ključno kod minimizacije širenja virusa jeste, snimanje, praćenje i estimacija konačnog broja širenja pandemije. U ovom radu biće opisan epidemiološki SIR model.

2. SIR MODEL

Cilj matematičkog modela jeste da zamijeni realan sistem i pri tome se opisuje tako da karakteristike i ponašanje modela odgovaraju posmatranom sistemu. Matematički modeli

se često koriste za ispitivanje dinamike prenosa zaraznih bolesti. Epidemiološki matematički model se koristi kako bi se predvidjela dinamika epidemije, odnosno kako će se ona širiti i kada će se završiti. SIR model predstavlja osnovni matematički model epidemije, koji su prvi put opisali Kermack i McKendrick [3] 1927. godine. Osnovni SIR model dijeli populaciju u tri grupe S - podložni (eng. *Susceptible*), I - zaraženi (eng. *Infected*), R - oporavljeni (eng. *Recovered*) i može se opisati sledećim diferencijalnim jednačinama na sledeći način:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta SI}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \gamma I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I.\end{aligned}\quad (1)$$

Gdje su:

- S(t) - broj podložnih zarazi,
- I(t) - broj zaraženih,
- R(t) - broj oporavljenih, odnosno broj imunih na zarazu,
- N - ukupan broj populacije,
- β - stopa razboljevanja,
- γ - stopa oporavka.

Pored navedenih parametara, važno je spomenuti i osnovnu stopu reproduktivnosti (eng. *Basic Reproduction Number*), R_0 , epidemiološku mjeru, koja se koristi za opisivanje prenosivosti zaraze bolesti. Matematički zapisano, osnovna stopa reproduktivnosti predstavlja odnos stope razboljevanja β i stope oporavka γ :

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma}. \quad (2)$$

2. ESTIMACIJA PARAMETARA SIR MODELA

Estimacija parametara podrazumijeva proces pronalaženja nepoznatih parametara datog sistema. U ovom radu urađena je *offline* estimacija parametara modela β i γ iz jednačine (1). Vrijednosti parametara SIR modela mogu se procijeniti na osnovu podataka iz prethodnog perioda. Parametri su procijenjeni korištenjem javno dostupnih podataka [4]. Takođe, bitno je napomenuti da se ukupan broj populacije, označen sa N, smatra konstantnim, odnosno da je zanemaren broj rođenih i umrlih. U nastavku teksta prikazan je

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirna Kapetina, docent.

postupak estimacije parametara SIR modela, širenja pandemije u Kini, odakle su podaci i preuzeti za period za koji se vodi kao prvi dan pandemije 22. januar, 2020. godine, pa do danas. U nastavku će biti prikazana dva pristupa, odnosno dva algoritma za estimaciju nepoznatih parametara.

2.1. Estimacija parametara SIR modela linearnom regresijom

Linearna regresija u statistici podrazumijeva pristup u kome se modeluje veza između skalarne promjenljive y , koja odgovara nekoj veličini, čije vrijednosti želimo da procijenimo i predstavljaju tzv. zavisnu promjenljivu i vektorske promjenljive x , koja označava više veličina koje smo u stanju da izmjerimo, a koje su u pretpostavci korelisane sa vrijednošću y [6]. Najjednostavniji model linearne regresije može se zapisati kao:

$$h(x, w) = \omega_0 + \omega_1 x_1 + \dots + \omega_d x_d. \quad (3)$$

Kod linearne regresije za slučaj jednog obilježja, pretpostavljamo da je veza između obilježja x i izlazne promjenljive h , linearna, gdje je sa h označena procijenjena vrijednost izlazne promjenljive. Odnosno, predviđamo vrijednost izlazne promjenljive h na osnovu hipoteze da je ta veza linearna:

$$h_\omega(x) = \omega_0 + \omega_1 x \quad (4)$$

Kao mjera odstupanja, može se usvojiti prosječna srednja kvadratna greška, na svim uzorcima i ova mjera se naziva funkcija cijene:

$$J(\omega_0, \omega_1) = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^M (h_\omega(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 \quad (5)$$

gdje su:

- M - ukupan broj uzoraka,
- $x^{(i)}$ - vrijednost x kod i -tog uzorka,
- $y^{(i)}$ - vrijednost y kod i -tog uzorka,
- $h_\omega(x^{(i)})$ - prognoza vrijednosti obilježja y na osnovu hipoteze h_ω za i -ti uzorak.

Matematički, problem se svodi na minimizaciju funkcije cijene:

$$(\hat{\omega}_0, \hat{\omega}_1) = \operatorname{argmin}\{J(\omega_0, \omega_1)\}. \quad (6)$$

Minimizacija funkcije cijene može se izvršiti analitički, izjednačavanjem gradijenta funkcije cijene sa nulom i numerički metodom opadanja gradijenta (*gradient descent*). Metoda opadanja gradijenta nalazi minimum na iterativan način pomjeranjem u pravcu najbržeg opadanja. Algoritam počinje inicijalizacijom početne tačke $x(0)$ i na iterativan način konvergira ka rješenju. Pošto se podaci COVID-19 ažuriraju svakodnevno, diferencijalne jednačine (1), mogu se zapisati u diskretnom vremenu, kao diferencne jednačine:

$$\begin{aligned} S(t+1) - S(t) &= -\frac{\beta(t)S(t)I(t)}{N}, \\ I(t+1) - I(t) &= \frac{\beta(t)S(t)I(t)}{N} - \gamma(t)I(t), \\ R(t+1) - R(t) &= \gamma(t)I(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Gdje je sa t označen tekući dan, a sa $t+1$, dan posle. Kod estimacije parametara linearnom regresijom, parametri β i γ se mogu izračunati za svaki dan pojedinačno, na osnovu istorijskih podataka, korištenjem sledećih jednačina:

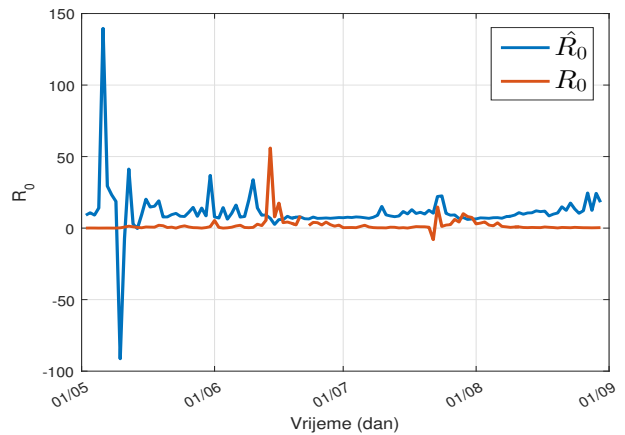
$$\gamma(t) = \frac{R(t+1) - R(t)}{I(t)}, \quad (8)$$

$$\beta(t) = \frac{[I(t+1) - I(t)] + [R(t+1) - R(t)]}{I(t)}, \quad (9)$$

Na osnovu jednačina (8) i (9), možemo estimirati nepoznate parametre β , γ , R_0 i odrediti estimirane vrijednosti broja zaraženih (I) i oporavljenih (R) korištenjem jednačine (7). Procijenjena vrijednost reproduktivnog faktora R_0 , dobijenog na osnovu procijenjenih vrijednosti parametara β , γ , prikazana je na slici 1.

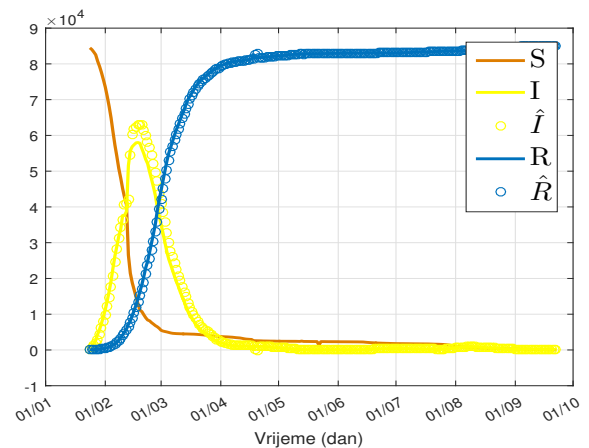
Napomena - U nastavku teksta, sve promjenljive sa oznakom $\hat{\cdot}$ označavaju estimirane vrijednosti.

Sa slike 1, možemo da zaključimo da je vrijednost R_0 dramatično opala od maja 2020. godine, međutim zbog naglih promjena vrijednosti u kratkom periodu, algoritam nije uspio da isprati sve promjene.



Slika 1: Estimacija R_0 linearnom regresijom za SIR model epidemije COVID-19 u Kini

Stvarne i procijenjene vrijednosti promjenljivih S , I i R prikazane su na slici 2.



Slika 2: Estimacija parametara linearnom regresijom za SIR model epidemije COVID-19 u Kini

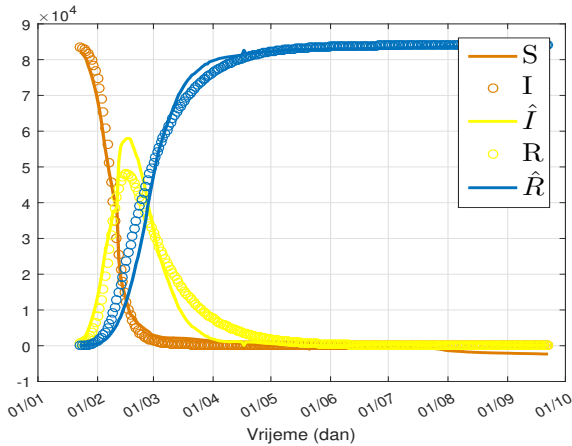
2.2. Estimacija parametara PSO algoritmom

Estimacija parametara može se izvršiti pomoću optimizacije rojem čestica (eng. *Particle Swarm Optimisation - PSO*). Ovaj optimizacioni algoritam pri pretraživanju prostora rješenja koristi skup čestica - jedinki, roj. Čestice u roju svojim kretanjem, istražuju taj prostor uz pretpostavku da će nakon izvjesnog vremena pronaći cilj, odnosno globalni optimum kriterijuma optimalnosti $f(x)$, što predstavlja analogiju stvarnom kretanju jedinski u prostoru [7].

Kod estimacije parametara PSO algoritmom smatramo da su parametri β i γ konstante i da se ne mijenjaju tokom vremena. Prema tome, može se formirati sledeći kriterijum optimalnosti:

$$J = \sum_{j=1}^L ((S(j) - \hat{S}(j))^2 + (I(j) - \hat{I}(j))^2 + (R(j) - \hat{R}(j))^2) \quad (10)$$

čijim minimiziranjem primjenom PSO algoritma, koji je pokrenut u 400 iteracija, rojem od 100 čestica, kao rezultat dao je optimalne vrijednosti parametara: $\beta = 0.32$ i $\gamma = 0.04$. Poređenje stvarnih vrijednosti i numeričkih vrijednosti dobijenih optimalnim parametrima, prikazani su na slici 3.



Slika 3: Estimacija parametara PSO algoritmom za SIR model epidemije COVID-19 u Kini

3. SIR model opisan frakcionim diferencijalnim jednačinama

Frakcioni račun (eng. *fractional calculus*) predstavlja oblast matematičke analize koja se bavi izučavanjem i primjenom izvoda i integrala proizvoljnog realnog ili kompleksnog reda. Modeli zasnovani na frakcionim diferencijalnim jednačinama pokazali su se korisnim u mehanici, fizici, elektrotehnici, medicini i mnogim drugim naukama. Izvodi necijelog reda imaju veoma važnu osobinu, koja se naziva memorijski efekat i koja ne postoji kod izvoda cijelog reda. To dalje implicira da buduće stanje frakcionog sistema ne zavisi samo od trenutnog stanja, nego i od prethodnih stanja sistema.

Pretpostavka za postojanja memorijskog efekta i zavisnost stanja od prethodnih, može da se uvede i kod broja ljudi koji su podložni zarazi. Iz tih razloga javila se ideja za modifikovanje osnovnog SIR modela sa frakcionim članom koji bi pomenuti efekat modifikovao. Takav matematički model

može se zapisati kao:

$$\begin{aligned} \dot{S} + \frac{d^\alpha S}{dt^\alpha} &= -\frac{\beta SI}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \gamma I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I. \end{aligned} \quad (11)$$

Kako je poznato da proces numeričkog rješavanja diferencijalnih jednačina frakcionog reda nije jednostavan, u sklopu ovog rada biće korištena ekspanziona formula opisana u radu [8], čije će osnovne postavke biti date u nastavku.

3.1. Ekspanziona formula [8]

Ekspanziona formula predstavlja analitičku, a samim tim i numeričku aproksimaciju frakcionih jednačina, koje su pokazale zavidnu tačnost, kada je najstariji izvod prvog reda.

$$\dot{x}(t) + k({}_0D_t^\alpha x)(t) = G(x, t), x(0) = x_0 \quad (12)$$

$x(t)$ predstavlja promjenljivu stanja, a t vremenski opseg. $({}_0D_t^\alpha x)(t)$ predstavlja Riemann- Liouville izvod α -tog reda i definisan je na sledeći način:

$$({}_0D_t^\alpha x)(t) = \frac{d}{dt} \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{x(\tau)}{(t-\tau)^\alpha} d\tau, 0 < \alpha < 1 \quad (13)$$

Gdje Γ predstavlja gama-funkciju, a $G(x, t)$ algebarski član. Pretpostavka je da je u jednačini (12), opisanoj u radu [8], najveći izvod cijelobrojnog reda, u ovom slučaju 1, dok je $k = \text{const}$. Glavna ideja metode [8], jeste da se redukuje sistem (12) u sistem sa samo cjelobrojnim izvodima:

$$\dot{x} = G(x, t) - k \left[\frac{x(t)}{t^\alpha} A(\alpha) + \sum_{i=2}^P B(\alpha, i) \frac{\tilde{v}_i}{t^{i-1+\alpha}} \right] \quad (14)$$

$$\tilde{v}_i = -(i-1)t^{i-2}x(t), i = 2, \dots, P$$

pri čemu moraju biti zadovoljeni početni uslovi:

$$x(0) = x_0, \tilde{v}_i(0) = 0, i = 2, 3, \dots, P \quad (15)$$

$A(\alpha)$ i $B(\alpha, p)$ su definisani sledećim izrazima:

$$\begin{aligned} A(\alpha) &= \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} - \frac{1}{\Gamma(\alpha-1)\Gamma(2-\alpha)} \\ x \sum_{p=2}^N \frac{\Gamma(p-1+\alpha)}{(p-1)!} \\ B(\alpha) &= -\frac{1}{\Gamma(\alpha-1)\Gamma(2-\alpha)} \frac{\Gamma(i-1+\alpha)}{(i-1)!} \end{aligned} \quad (16)$$

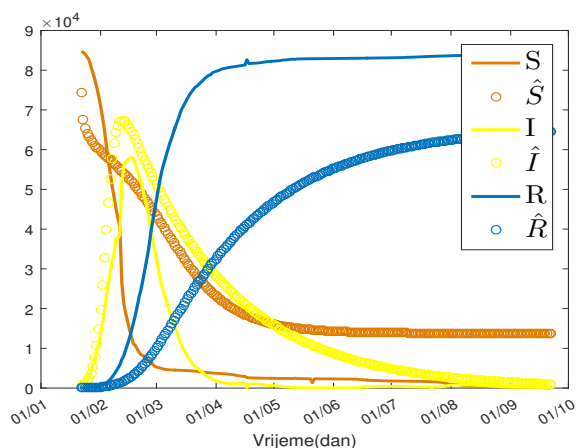
Jasno je da je broj jednačina cijelobrojnog reda, a time i tačnost aproksimacije zavisi od parametra P , što je dalje srazmjerno broju pomoćnih promjenljivih stanja koje se uvode u sistem.

3.2. Estimacija parametara frakcionog SIR modela

Prethodno opisana ekspanziona formula (14) može se primijeniti za simulaciju frakcionizovane promenljive stanja S , koja dobija oblik:

$$\dot{S}(t) = -\frac{\beta SI}{N} - k \left[\frac{S}{t^\alpha} + \sum_{i=2}^N B(\alpha, i) \frac{\tilde{v}_i}{t^{i-1+\alpha}} \right] \quad (17)$$

Kao i kod SIR modela opisanog običnim diferencijalnim jednačinama, izvršena je estimacija parametara SIR modela upotrebom PSO algoritma. U slučaju SIR modela opisanog frakcionim diferencijalnim jednačinama, pored parametara β i γ , potrebno je estimirati i parametre α i k iz jednačine (17). Simulacija je izvršena za $P=4$, primjenom kriterijuma optimalnosti (10), za PSO algoritam sa 400 iteracija i 100 jedinki, dobijeni optimalni parametri su: $\beta = 0.25$, $\gamma = 0.08$, $\alpha = 0.85$ i $k = 0.68$.



Slika 4: Estimirani parametri PSO algoritmom za SIR model epidemije COVID-19 u Kini opisanog frakcionim diferencijalnim jednačinama

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je osnovni epidemiološki SIR model, koji opisuje širenje zaraze koronavirusom. Estimacija nepoznatih parametara izvršena je upotrebom PSO algoritma i linearne regresije. Uveden je i pojam frakcionog računa, pa je pored modela opisanog običnim diferencijalnim jednačinama, predstavljen i SIR model opisan frakcionim diferencijalnim jednačinama.

Postoje mnogi načini da se ova ideja proširi. Ovde je prikazan najjednostavniji epidemiološki model, međutim, postoje razne modifikacije SIR modela, koje uzimaju u obzir broj umrlih, broj rođenih i broj izloženih, te je samim tim

model precizniji. Takođe, ukoliko bi se dodalo upravljanje, koje bi bilo predstavljeno u vidu vakcine ili samoizolacije, moglo bi se uporediti koja metoda bi bila najefikasnija za smanjenje širenja zaraze.

5. LITERATURA

- [1] „WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard” <https://covid19.who.int/>
- [2] „Coronavirus-World Health Organisation” <https://www.who.int/health-topics/coronavirus>
- [3] William Ogilvy Kermack, Anderson Gray McKendrick, „Contributions to the mathematical theory of epidemics - I”, Bulletin of Mathematical Biology, 1927.,
- [4] „Worldometer COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC” <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
- [5] Aleksandar Erdeljan, Darko Čapko, „Modelovanje i simulacija sistema: sa primerima”, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.,
- [6] Vladimir Crnojević, „Prepoznavanje oblika za inženjere”, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2014.
- [7] Željko Kanović, Zoran Jeličić, Milan Rapaić, „Evolutivni optimizacioni algoritmi u inženjerskoj praksi”, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.
- [8] Zoran Jeličić, Nebojša Petovački, „Optimality conditions and a solution scheme for fractional optimal control problems”, Springer, Verlag, 2008.

Kratka biografija:



Smilja Stokanović rođena je u Bijeljini 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – odbranila je 2020. godine.
Kontakt: smiljastokanovic@gmail.com

FREKVENCIJSKO KODOVANJE VIBROTAKTILNE POVRATNE SPREGE**FREQUENCY CODING OF VIBROTACTILE FEEDBACK**Jelena Bulatović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA**

Kratak sadržaj – U ovom radu objašnjen je značaj haptičke povratne sprege zasnovane na vibrotaktilnoj senzornoj supstituciji kao i princip njenog funkcionisanja. Urađen je eksperiment sa 10 ispitanika koji su imali zadatak da nauče da razlikuju osam nivoa aktivacije vibromotora, postavljenih na podlakticu ispitanika. Prije početka eksperimenta, nakon serije pilot testova, definisana je frekvencijska šema kodiranja nivoa za aktivaciju vibromotora. Eksperiment se sastojao od tri faze: faze upoznavanja, faze učenja i test faze. Nakon test faze analizirana je uspešnost ispitanika u razlikovanju nivoa u zavisnosti od dobijenih vrijednosti mjera kvaliteta.

Ključne reči: Haptički interfejs, Vibrotaktilna povratna sprega, Vibromotori

Abstract – This paper explains the importance of haptic feedback based on vibrotactile sensory substitution as well as the principle of its functioning. An experiment was performed with 10 subjects whose task was to learn to distinguish eight levels of vibromotor activation, which were placed on the subject's forearms. Before the start of the experiment, after series of pilot tests, a frequency coding scheme for vibromotor activation was defined. The experiment consisted of three phases: the introduction phase, the learning phase and the test phase. After the test phase, the success of the subjects in discriminating levels of activation of vibromotors was analyzed.

Keywords: Haptic Interface, Vibrotactile Feedback, Vibromotors

1 UVOD

Čulo dodira je jedno od najinformativnijih čula koja čovjek posjeduje [1]. Dodir može da se definiše kao senzacija koja izazva mehaničke, termičke, hemijske ili električne stimuluse [2].

Postoje situacije kada čovjek nije u mogućnosti da putem čula dobije dovoljno informacija iz okoline, na primjer, u slučaju upravljanja na daljinu, amputacije dijela tijela, itd. Tada je potrebno obezbijediti dodatne načine pomoću kojih se ostvaruje prenos povratnih informacija iz čovjekove okoline do čovjeka. To je moguće ostvariti uz pomoć haptike, koja omogućava korisniku interakciju sa virtuelnim okruženjem ili sistemom kojim se upravlja daljinski. Generalno govoreći, pojam „haptika“ se odnosi na čulo dodira u dvostrukom smislu: na osjećaj dodira na koži i na kinestetički dodir.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nikola Jorgovanović, red.prof.

Senzacije kinestetičkog dodira se javljaju unutar mišića i tetiva i čovjeku omogućavaju da stekne osjećaj o položaju udova u prostoru.

Haptički interfejs se sastoji od prikaza virtuelnog ili udaljenog okruženja u realnom vremenu i manipulatora koji služi kao interfejs između ljudskog operatera i simulacije. Korisnik pravi pokrete unutar virtuelnog ili udaljenog okruženja pomjeranjem robotskog uređaja. Haptička povratna sprega, koja je u osnovi povratna informacija sile ili dodira u interfejsu čovjek-mašina, omogućava računarskim simulacijama različitih zadataka da korisniku prenose realne, opipljive senzacije, a objektima koji se obično vizuelno simuliraju da poprime stvarna fizička svojstva, poput mase, tvrdoće i teksture. Uključivanjem haptičnih povratnih informacija u virtuelno ili udaljeno okruženje, korisnici imaju mogućnost da intereaguju sa objektima umjesto da samo vide njihovu predstavu u prostoru na monitoru.

Mogućnosti koje pruža haptika od velikog značaja je za korisnike simulatora za obuku u hirurškim procedurama, radu na kontrolnoj tabli ili u neprijateljskom radnom okruženju [3]. Haptički interfejsi se mogu koristiti i za pružanje povratne informacije o sili tokom izvršavanja zadataka na daljinu (poznatih kao teleoperacija) kao što su telesurgija ili uklanjanje opasnog otpada. Veliku primjenu haptika ima i u protetici – usljed amputacije uda protetička zamjena mora da izbalansira složene senzorske sa spretnim motornim funkcijama koje ruka treba da obavlja i istovremeno da bude biološki integrisana u ljudskom tijelu u cilju što boljeg prihvatanja od strane korisnika. Ovako širok spektar primjene haptičke povratne sprege govori od njenim prednostima i potrebi za daljim razvojem i napretkom u toj oblasti.

U eksperimentu opisanom u radu [4] 18 zdravih ispitanika upravljalo je virtuelnim objektom uz pomoć vizuelne i/ili vibrotaktilne povratne sprege. Informaciju putem vibracije dobijali su na prstu, ruci, vratu ili stopalu. Svi ispitanici su imali poboljšane performanse prilikom upravljanja uz pomoć vibrotaktilne povratne sprege. Njihovi rezultati pokazali su i snažan efekat učenja tokom vremena, a kako je proces učenja napredovao, tako su i pozicije stimulusa manje uticale na uspjehnost upravljanja, što implicira na važnost adekvatne obuke pri korišćenju vibrotaktilne povratne sprege.

Ispitivanje performansi 10 amputiraca pri virtuelnom hvatanju objekata uz pruženu povratnu informaciju o otvorenosti šake i sili hvata opisano je u radu [5]. Njihov zadatak bio je da virtuelnom rukom uhvate objekat prikazan na monitoru računara uz podešavanje otvorenosti šake i sile hvata pomoću kompjuterskog miša. Procenat dobro primijenjenih nivoa otvorenosti šake i sile hvata pokazuje

da korištenje vibrotaktilne povratne sprege dovodi do poboljšanja u kontroli virtualne ruke u odnosu na kontrolu bez povratne sprege, dok su još bolji rezultati dobijeni dodavanjem i vizuelne povratne sprege.

U [6] opisana su dva eksperimenta: prvi se odnosio na prostornu diskriminaciju nadražaja, a drugi na opažanje različitih intenziteta stimulacije. Kombinacijom tri intenziteta i tri trajanja vibrotaktilnog nadražaja dobijeno je devet različitih stimulusa koji su testirani pomoću šest vibromotora raspoređenih na četiri različita načina. 11 zdravih ispitanika učestvovalo je u dva gorenavedena eksperimenta, dok je sedam amputiraca učestvovalo samo u zadatku prostorne diskriminacije.

U prvom eksperimentu kružno postavljani vibromotori oko nadlaktice sa proporcionalnim razmakom dali su najbolje rezultate gdje je tačnost dostizala 75%. Drugi eksperiment je pokazao da na percepciju intenziteta vibracije utiče kako intenzitet, tako i trajanje aktivacije vibromotora. Sedam amputiraca je postiglo rezultate sa do 92% tačnosti sa kružno-proporcionalnom postavkom vibromotora.

2 PRINCIPI HAPTIČKE PERCEPCIJE

Haptički receptori obuhvataju tri nezavisna modaliteta: pritisak/dodir (mehanorecepcija), toplota i hladnoća (termorecepcija) i bol (nocicepcija) [7]. Kako su mehanoreceptori odgovorni za taktilni osećaj pritiska/ dodira koji je od ključnog značaja u primjeni haptičke povratne sprege, u nastavku rada fokus će biti na modalitetu pritiska/dodira.

Mehanorecepcija obuhvata četiri različite senzacije: osjećaj pritiska, dodira, vibracija i golicanja. Raspodjela ovih receptora nije ravnomjerna po tijelu. Koža koja nije prekrivena dlakama ima pet vrsta receptora: slobodne receptore (ili nervne završetke), Majsnereva tjelašca, Merkelove diskove, Pačnijeva i Ruffinijeva tjelašca. Pored ovih receptora, dlakava koža ima plexus korjena dlake (ili folikul) koji detektuje kretanje na površini kože. Sistemi pomoću kojih se ostvaruje senzorna povratna sprega mogu da se podijele u tri kategorije: sistemi sa povratnom spregom zasnovanoj na senzornoj supstituciji, sistemi sa povratnom spregom sa podudarnim modalitetom stimulusa i na sistemi sa povratnom spregom zasnovane na somatotopskom podudaranju.

2.1 Povratna sprega zasnovana na senzornoj supstituciji

Senzorna supstitucija je metod koji omogućuje da informacije iz spoljašnje sredine stignu do tijela korisnika kroz senzorne kanale koji nisu predviđeni za taj konkretan nadražaj (na primjer, zamjena čula dodira čulom sluha) ili putem istih čulnih kanala ali kada nadražaj stigne u drugom obliku (na primjer, zamjena pritiska vibracijama) [8].

Većina sistema za pružanje povratne informacije koriste baš ovu ideju, a tehnike koje prevladavaju su vibrotaktilna i elektrotaktilna supstitucija koja koristi ili mehaničke vibracije ili električnu struju na koži u cilju kodiranja informacija iz spoljašnje sredine.

2.1.1 Vibrotaktilna senzorna supstitucija

Vibrotaktilna stimulacija izaziva se mehaničkim vibracijama frekvencije između 10 i 500 Hz [8]. Dva glavna parametra ovog stimulusa su amplituda i

frekvencija vibracija, ali i trajanje i oblik impulsa, kao i faktor ispune. Podešavanjem ovih parametara, moguće je kodirati različite vrste informacija [9][10]. Doživljaj ovih nadražaja je subjektivan, a osim od gorenavedenih parametara, zavisi i od dijela tijela na kom se stimuliše koža (od čega zavisi debljina kože, prekrivenost dlakama, blizina kostiju, itd.).

Vibrotaktilna povratna sprega se često koristi da prenese informaciju u toku pokreta koji podrazumijevaju hvatanje objekta. Jedan od načina upotrebe je, na primjer, kada vibromotor proizvodi kontinualne ili diskretne vibracije u trenutku kada proteza ruke dođe u kontakt sa objektom [11–13]. Zdravi ispitanici se obično koriste u procesu evaluacije efikasnosti vibrotaktilnih sistema. Manipuliše se parametrima kao što su amplituda [13] ili frekvencija nadražaja [12][13] da bi se kodirali različiti nivoi sile hvata.

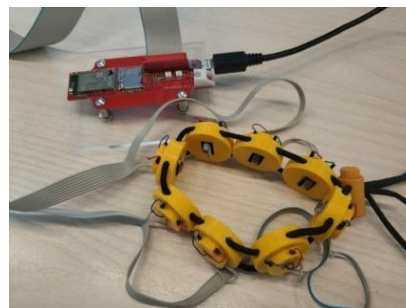
3 METOD

Cilj istraživanja opisanog u ovom radu jeste da se pronađe adekvatan način na koji će povratne informacije u sklopu haptičkog interfejsa biti saopštene njegovom korisniku. Ideja je da se koriste četiri vibromotora koja će biti aktivirana prema različitim šemama frekvencijskog kodiranja tako da korisnik sa što većom sigurnošću može da interpretira različite informacije iz spoljašnje sredine. Analiza podataka prikupljenih tokom ovog eksperimenta treba da odgovori na pitanje da li je ispitanik u stanju da razlikuje osam različitih nivoa aktivacije vibromotora i ako jeste, kolike su mjere njegove uspješnosti u obavljanju ovog zadatka.

3.1 Eksperimentalno okruženje

U cilju izvođenja eksperimenta korišten je personalni računar, vibromotori i drajverska pločica.

Vibromotori su ugrađeni u narukvicu prikazanoj na Slici 1, koja se postavlja na podlakticu ispitanika. U narukvicu je ugrađeno osam vibromotora, ali su za potrebe ovog ispitivanja aktivirani jedan ili četiri, u zavisnosti od cjeline eksperimenta. Povezani su sa drajverskom pločicom, razvijenom na Fakultetu tehničkih nauka, koja je pomoću USB kabla povezana sa PC računarom. Prilikom izrade eksperimentalnog okruženja za personalni računar korišten je programski paket MATLAB (verzija R2018a, MathWorks, USA).



Slika 1. Narukvica sa vibromotorima i drajverska pločica

3.2 Aplikacija za izvođenje eksperimenta

Aplikacija za izvođenje eksperimenta izrađena je u programskom paketu MATLAB i sastoji se iz grafičkog korisničkog interfejsa (GUI) koji je kreiran u okviru GUIDE specijalizovanog proširenja programskog paketa

Matlab. Čine ga osnovna i nekoliko pomoćnih formi koje pružaju dodatna podešavanja. Sam interfejs je krajnje jednostavan, a korisniku prije svega omogućava intuitivno vođenje eksperimenta. Aplikacija daje korisniku mogućnost podešavanja parametara stimulacije, jednostavno praćenje eksperimenta i što je najvažnije, strukturirano čuvanje svih prikupljenih podataka.

3.3 Podešavanje parametara stimulacije

Prije početka samog eksperimenta bilo je potrebno odrediti parametre vibrotaktilne stimulacije, odnosno kombinovanjem različitih intenziteta i trajanja stimulacije kreirati šemu kodiranja koja je dovoljno intuitivna za korisnika tako da može da razlikuje osam različitih nivoa stimulacije. Važno je napomenuti da se u ovom eksperimentu termin „nivo“ ne odnosi isključivo na nivo intenziteta stimulacije, već i na dužinu periode sa kojom će se aktivni period ponavljati u toku ukupnog trajanja stimulacije. Nakon serije pilot testova i isprobavanja različitih vrijednosti traženih parametara, određeno je da ukupno trajanje stimulacije bude 1600 ms u toku kojih se vibromotori aktiviraju periodično, sa aktivnim periodom stimulacije od 50 ms. Dužina periode razlikuje se u zavisnosti od nivoa stimulacije i dobijena je dijeljenjem opsega od 50-400 ms na osam dijelova. Smanjenjem periode stimulacije, odnosno povećanjem frekvencije kojom se stimulus pojavljuje, stiže se subjektivan osjećaj da stimulacija dobija sve veći intenzitet. Podešavanjem intenziteta tako da se on postepeno smanjuje sa porastom broja perioda može se postići da se jačina vibracija osjeti približno jednako na svim nivoima. Kada je frekvencija pojavljivanja stimulusa najmanja, intenzitet stimulacije je podešen da bude najveći, odnosno 100% od maksimalne vrijednosti simulacije i to odgovara prvom nivou aktivacije. Isprobavanjem različitih intenziteta utvrđeno je da, kada je frekvencija pojavljivanja stimulusa najveća, ima smisla smanjiti intenzitet aktivacije na 50% od maksimalne vrijednosti stimulacije – to će odgovarati posljednjem, odnosno osmom nivou aktivacije. Dakle, intenziteti izraženi u procentima u odnosu na maksimalnu vrijednost stimulacije od prvog do osmog nivoa dobijeni su linearnom podjelom opsega od 50-100 na osam vrijednosti.

3.4 Eksperimentalni protokol

Eksperiment je podijeljen u dvije cjeline koje obuhvataju tri faze eksperimenta: fazu upoznavanja, fazu učenja i test fazu. Dvije cjeline eksperimenta se odvijaju gotovo identično, jedina razlika je to što prva cjelina podrazumijeva stimulaciju pomoću jednog vibromotora dok se u drugoj aktiviraju sva četiri.

1.1.1 Faza upoznavanja

Prva faza jeste upoznavanje sa okruženjem kao i osjećajem koji različiti nivoi aktivacije vibromotora izazivaju kod ispitanika. Nakon unosa gorenavedenih parametara stimulacije, ispitanik se proizvoljnim pritiskanjem na dugmad koja su obilježena brojevima od jedan do osam, upoznaje sa načinima aktivacije vibromotora. Na fazu učenja se prelazi kada ispitanik procijeni da je sposoban da razlikuje osam različitih nivoa aktivacije vibromotora.

1.1.2 Faza učenja

U fazi učenja, vibromotori se aktiviraju različitim nivoima nasumičnim redom, ali tako da se svaki nivo aktivira bar po tri puta. Ispitanik ima zadatak da nakon stimulacije pogodi vrijednost nivoa aktivacije vibromotora, a nakon odabira odgovora prikazuje mu se stvarna vrijednost nivoa aktivacije. Na taj način, ispitaniku je omogućen proces učenja.

1.1.3 Test faza

Test faza se odvija na sličan način kao i faza učenja s tim da se, nakon datog odgovora, ispitaniku ne daje povratna informacija o stvarnoj vrijednosti nivoa aktivacije vibromotora. Nakon 25 stimulacija, test faza je završena, a pretpostavljene i stvarne vrijednosti se čuvaju u .mat fajlu.

1.1.4 Ispitanici

U eksperimentu je učestvovalo 10 ispitanika, sedam žena i tri muškarca, starosti 29 ± 11 (srednja vrijednost $\pm$ standardna devijacija). Svi ispitanici su potpisali pismenu saglasnost za učestvovanje u eksperimentu..

4 REZULTATI

U toku eksperimenta prikupljeni su podaci o pravim i pretpostavljenim vrijednostima nivoa aktivacije vibromotora. Od prikupljenih podataka formirane su matrice konfuzije na osnovu kojih su dobijene mjere uspješnosti ispitanika u prepoznavanju. Zbog ograničenosti obima ovog rada, biće prikazani samo rezultati dobijeni iz druge cjeline eksperimenta, pri aktivaciji sva četiri vibromotora, gdje su ispitanici ostvarili bolje rezultate u odnosu na prvu cjelinu eksperimenta. Mjere uspješnosti ispitanika u prepoznavanju nivoa aktivacije date su u Tabeli 1. Mjere uspješnosti ispitanika posmatrane po nivoima u toku druge cjeline eksperimenta prikazane su u Tabeli 2.

Tabela 1: Mjere uspješnosti ispitanika u prepoznavanju nivoa u toku druge cjeline eksperimenta

Ispitanik	Osjetljivost	Specifičnost	Tačnost	Preciznost
1	73 %	96 %	93 %	75 %
2	53 %	93 %	88 %	55 %
3	79 %	97 %	95 %	85 %
4	50 %	93 %	87 %	55 %
5	73 %	96 %	93 %	75 %
6	96 %	99 %	99 %	97 %
7	94 %	99 %	98 %	95 %
8	84 %	98 %	96 %	87 %
9	71 %	96 %	93 %	73 %
10	46 %	93 %	87 %	43 %
Proječna vrijednost	72 %	96 %	93 %	71 %

Tabela 2: Mjere uspješnosti ispitanika posmatrane po nivoima u toku druge cjeline eksperimenta

Nivoi	Osjetljivost	Specifičnost	Tačnost	Preciznost
1	94 %	99 %	98 %	91 %
2	87 %	98 %	96 %	84 %
3	77 %	96 %	94 %	74 %
4	65 %	95 %	91 %	65 %
5	43 %	95 %	88 %	52 %
6	45 %	91 %	86 %	42 %
7	63 %	94 %	90 %	63 %
8	100 %	100 %	100 %	100 %

Dobijene mjere uspješnosti ispitanika su veoma visoke, što govori da je utvrđeni način frekvencijskog kodovanja aktivacije vibromotora intuitivan i da je, nakon svega nekoliko minuta treninga, sa velikim uspjehom moguće razlikovati osam nivoa aktivacije vibromotora.

Interesantno je posmatrati i mjere uspješnosti po različitim nivoima koje su date u Tabeli 2 odakle se može vidjeti da su ispitanici najviše griješili u prepoznavanju nivoa pet i šest, sa velikim procentom svih vrijednosti mjera kvaliteta su prepoznavali nivoe jedan, dva i tri, dok su u 100 % slučajeva pogodili da se radi o nivou osam, sa kojim nisu pomiješali nijedan drugi nivo u toku trajanja eksperimenta što je i očekivano, s obzirom na to da u slučaju osmog nivoa vibromotori rade neprekidno 1600 ms, što je lako prepoznati.

5 ZAKLJUČAK

Visoke mjere uspješnosti ukazuju na to da je šema frekvencijskog kodovanja nivoa aktivacije vibromotora intuitivna za korištenje, te da bi mogla da se primijeniti u svrhu pružanja povratnih informacija u skupu haptičkog interfejsa. Većina grešaka koje su ispitanici pravili, podrazumijevaju miješanje susjednih nivoa. Najveća razlika koju su ispitanici pravili između nivoa je pet (u samo 1% slučajeva). Drugo, bolji rezultati u toku druge cjeline eksperimenta ukazuju na to da su ispitanici u toku prve cjeline još uvijek bili u fazi učenja, kao i da da većom uspješnošću mogu da razlikuju nivoe kada je aktiviran veći broj vibromotora. Ovakvi rezultati su i očekivani, budući da veći broj vibromotora podrazumijeva i veću dodirnu površinu vibromotora i kože, što kod ispitanika izaziva senzacije većeg intenziteta. Ipak, neki ispitanici su u toku druge cjeline ostvarili lošije rezultate u poređenju sa onima iz prve. Razlog za to je, kako kažu, pad koncentracije koji je uslijedio tokom vršenja eksperimenta.

6. LITERATURA

- [1] O'malley, M.K. and Gupta, A., 2008. Haptic interfaces. *HCI beyond the GUI: Design for Haptic, Speech, Olfactory, and other nontraditional Interfaces*, pp.25-64.
- [2] Cholewiak, R.W. and Collins, A.A., 1991. Sensory and physiological bases of touch. *The psychology of touch*, pp.23-60.

- [3] Meech, J.F. and Solomonides, A.E., 1996. User requirements when interacting with virtual objects.
- [4] Stepp, C.E. and Matsuoka, Y., 2011. Object manipulation improvements due to single session training outweigh the differences among stimulation sites during vibrotactile feedback. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(6), pp.677-685.
- [5] Witteveen, H.J., Rietman, H.S. and Veltink, P.H., 2015. Vibrotactile grasping force and hand aperture feedback for myoelectric forearm prosthesis users. *Prosthetics and orthotics international*, 39(3), pp.204-212.
- [6] Guemann, M., Bouvier, S., Halgand, C., Paclet, F., Borrini, L., Ricard, D., Lapeyre, E., Cattaert, D. and de Rugy, A., 2019. Effect of vibration characteristics and vibrator arrangement on the tactile perception of the upper arm in healthy subjects and upper limb amputees. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 16(1), p.138.
- [7] Schmidt, R.F., 1981. Somatovisceral sensibility. In *Fundamentals of sensory physiology* (pp. 81-125). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [8] Kaczmarek, K.A., Webster, J.G., Bach-y-Rita, P. and Tompkins, W.J., 1991. Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 38(1), pp.1-16.
- [9] Cipriani, C., D'Alonzo, M. and Carrozza, M.C., 2011. A miniature vibrotactile sensory substitution device for multifingered hand prosthetics. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 59(2), pp.400-408.
- [10] Jones, L.A. and Sarter, N.B., 2008. Tactile displays: Guidance for their design and application. *Human factors*, 50(1), pp.90-111.
- [11] Pylatiuk, C., Kargov, A. and Schulz, S., 2006. Design and evaluation of a low-cost force feedback system for myoelectric prosthetic hands. *JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics*, 18(2), pp.57-61.
- [12] Chatterjee, A., Chaubey, P., Martin, J. and Thakor, N., 2008. Testing a prosthetic haptic feedback simulator with an interactive force matching task. *JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics*, 20(2), pp.27-34.
- [13] Stepp, C.E. and Matsuoka, Y., 2011. Vibrotactile sensory substitution for object manipulation: amplitude versus pulse train frequency modulation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 20(1), pp.31-37.

Kratka biografija:



Jelena Bulatović rođena je 16. septembra 1996. godine u Trebinju. Završila je osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smjer biomedicinsko inženjerstvo i nastavila master studije na istom smjeru. Od oktobra 2019. godine zaposlena je kao saradnik u nastavi na Fakultetu tehničkih nauka, katedra za računarstvo i automatiku.

INTERAKTIVNA HOLOGRAFIJA U MEDICINSKOM INŽENJERINJU**INTERACTIVE HOLOGRAPHY IN MEDICAL ENGINEERING**

Jovan Grgur, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je opisan razvojni put i principi holografske tehnike sa naglaskom na njenoj primeni u medicinskom inženjeringu. Opisana su neka aktuelna dostignuća holografije i moguće perspektive njenog daljnjeg razvoja pre svega na unapređenju računarske tehnologije i 3D aplikacija.

Ključne reči: Holografija, Hologram, Biomedicinsko inženjerstvo

Abstract – The paper describes the development path and principles of holographic technique with an emphasis on its application in biomedical engineering. Some current achievements of holography and possible perspectives of its recent development are described, primarily on the improvement of computer technology and 3D applications.

Keywords: Holography, Hologram, Biomedical Engineering

1. UVOD

Hologram je trodimenzionalna slika kreirana interferencijom laserskih zraka ili nekog drugog koherentnog svetlosnog izvora unutar holografskog materijala. Holografija je nauka, metodologija i praksa kreiranja i aplikovanja holograma [1,2].

Tehnologija klasične, a u novije vreme digitalne fotografije poznata je toliko dugo da su ljudi navikli da gledaju 3D svet projektovan odnosno komprimovan na 2D pozadini. Treća dimenzija slike je samo iluzija i ništa više. Ova konstatacija se odnosi na obične fotografije, kao i na film, TV i video.

Izvesna iluzija postizana je primenom specijalnih naočara čiji tip zavisi od vrste prikaza (crveno-plave za fotografije i video-zapise sa dislociranim obojenim površinama, polarizovane koje se koriste pretežno u bioskopima i ASG-naočare ili *Active Shutter Glasses* za bioskope i TV koji ima 3D mogućnosti).

Hologram u svojoj izvornoj verziji je medij koji sadrži memorisanu sliku realnog objekta, odnosno visoko-kontrastni, crno-beli fotografski film, tako da je za ispravno shvatanje značenja pojmova hologram i holografija, potrebno najpre objasniti vezu sa klasičnom fotografijom.

NAPOMENA:

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

Treba naglasiti da holografija ima vrlo malo dodirnih tačaka s tradicionalnom fotografijom. Za razliku od fotografije, hologram se sastoji od niza podataka o veličini, obliku, svetlosti i kontrastu oblika koji se prikazuje, sve to pohranjeno u mikroskopskim, kompleksnim i slojevito isprepletenim uzorcima [2].

Preciznije rečeno, za razliku od klasične fotografije – metode pri kojoj se na fotografskoj ploči ili filmu registruje samo intenzitet svetlosnog talasa, u holografiji se na foto-ploču snima i amplituda i faza svetlosnog talasa koji na nju pada.

Foto-ploča i drugi adekvatan medij koji se koristi za ovu svrhu zajedno sa snimljenom holografskom slikom naziva se hologram. Obična fotografija prikazuje samo ravnu sliku trodimenzionalnog predmeta i to viđenu isključivo iz jedne određene tačke. Na njoj se ne može pogledati šta je iza predmeta koji su u prednjem planu.

Tipično za hologram je što se radi o fotografskom zapisu svetlosnog polja, a ne o fiksiranju slike formirane pomoću sočiva. Uloga sočiva je zapravo samo u razdeljivanju koherentnog snopa na više podsnopova (Slika 1).

Na ovaj način holografija omogućava memorisanje pune trodimenzionalne strukture snimljenog objekta. Dakle, na (ili preciznije "u") hologramu se ne snima optička slika predmeta, već interferenciono-difrakcijska slika koja nastaje pri interferenciji svetlosnih talasa rasejanih na površini predmeta čije slike holografija snima i njima koherentnih referentnih talasa.

Za razliku od negativa ili pozitiva u klasičnoj fotografiji, bilo kakva oštećenja holografskog snimka ne dovode do inoperabilnosti snimka, jer svaki deo holografskog zapisa sadrži i dalje sve delove celine. Pri rezanju holograma na dva jednaka dela ne gubi se pola slike, nego se iz svake polovine opet može videti čitav objekat.

Hronološki poređani događaji koji su uticali na nastanak i razvoj holografije dati su u sledećoj listi:

- 1672. god. Isak Njutn (Isaac Newton) je uz pomoć prizme razdelio talas bele svetlosti na njegove spektralne komponente,
- 1882. godine određena je brzina svetlosti od 299.778 km/s,
- 1948. godine Denis Gabor otkriva osnovne matematičko-fizičke metode holografije za šta kasnije dobiva Nobelovu nagradu,
- 1858. godine. C. H. Tatars i A. L. Šavlov objavljuju članak „Infracrveni i optički laser“ u kojem su nagovestili mogućnost laserskog emitovanja koherentne svetlosti,
- 1960. godine. T. M. Maiman iz Kalifornije gradi prvi laser - impulsni rubinski laser, i

• 1961. godine. Pronalaskom lasera budi se ponovno interes za holografiju. E. Leit i J. Upatniks sa „Univerziteta u Mičigenu“ ponavljaju rane Gaborove eksperimente, ovog puta uz pomoć lasera.

Iako je od otkrića teorije holografije prošlo već više od 70 godina, praktična primena ove tehnike živi tek poslednje tri decenije uporedo sa otkrićem i razvojem laserske tehnologije. Otkriće lasera se pokazalo kao bitan preduslov za kreiranje holograma. Holografija je pravi zamah doživela tek pojavom prvih modernih računara snažnije konfiguracije.

S vremenom je holografija toliko napredovala da su danas projekcije holografskih snimaka u 3D modu postale uobičajene u mnogim oblastima. Svet kulture, umetnosti, marketinga i zabave sve više koristi nove mogućnosti izražavanja koje nude hologrami.

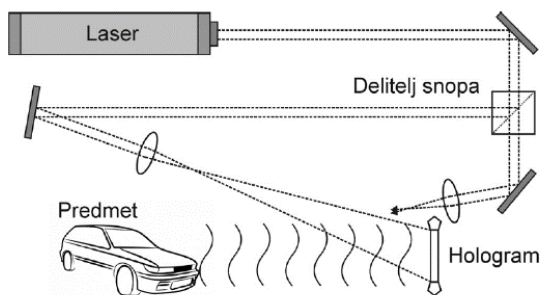
Medicina je oblast koja je obručke prihvatila mnoge izazove i mogućnosti holografije.

Firme poput Philipsa ili Microsofta trenutno su u fazi intenzivnog razvoja holografskih sistema kako za edukaciju medicinskog osoblja tako i za podršku pri medicinskim intervencijama.

1.1. Princip kreiranja holograma

Referentni laserski snop koji se ne reflektuje od objekta kreće se uporedo sa snopom odraženim od objekta (predmetni snop) i zajedno formiraju određeni obrazac na fotografskoj ploči. Kada se ova dva zraka susretnu, dobija se interferencijski obrazac, odnosno tamne i svetle pruge na mestima gde se leđa (breg) ili dolje (dolina) subjekta i referentne zrake presecaju. Zatim se to usnimi na fotografsku ploču - videti Sliku 1) i dobija se hologram koji zatim treba da se razvije, prateći postupak sličan onome za pravljenje normalnog, tradicionalnog odnosno klasičnog fotografskog filma.

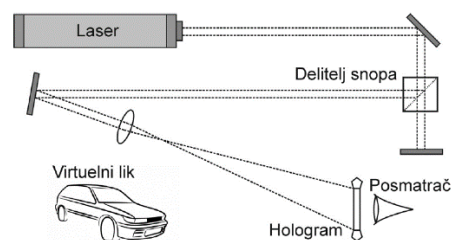
Kada se snimljeni hologram osvetli jednakim ravnomernim referentnim talasom koji pada na njega pod jednakim uglom kao i pri snimanju, svetlost kroz hologram delimično prolazi bez savijanja, kao talas nultog reda, a delimično se savija formirajući sekundarne talase.



Slika 1. Kreiranje holografske slike

Jedan sekundarni talas daje realnu sliku objekta, a drugi virtuelnu sliku. Obe slike su trodimenzionalne, s tim da se realna slika može dalje registrovati (snimiti) fotografskim postupkom, a virtuelna ne. Slika objekta dobijenog reprodukcijom holograma verna je objektu, iste je veličine kao i objekat, a zavisno od ugla posmatranja holograma moguće je videti predmete koji stoje jedan iza drugog. Posmatrač koji gleda hologram ima utisak da gleda na svetli predmet kroz okvir holograma.

Na mesto fotoploče pri gledanju odnosno rekonstrukciji postavlja se hologram. Usled difrakcije upadnog snopa (koji se sada naziva rekonstrukcioni snop) na hologramu, nastaje talas koji ima istu strukturu kao talas koji je bio reflektovan od predmeta čiji hologram se snimao (Slika 2).



Slika 2. Rekonstrukcija i posmatranje holografske slike

Hologram može sadržati veliki broj „stranica“ koje su snimljene pod različitim uglovima prema ploči, omogućavajući da se velika količina podataka sačuva na jednom hologramu. Laserski generisani podaci uvek se naknadno mogu očitati laserom.

Interferometrija je važna eksperimentalna metoda i u astronomiji, istraživanju optičkih vlakana, inženjerskoj meteorologiji, optičkoj meteorologiji, okeanografiji, seizmologiji, kvantnoj mehanici, nuklearnoj fizici, nuklearnoj medicini, fizici čestica itd. Interferometrija je skup tehnika u kojima su talasi - uglavnom elektro-magnetni - superponirani na takav način da bi se na bazi njih dobile celovite informacije o objektu posmatranja odnosno merenja.

Orijentisana ka holografiji klasična interferometrija kao metod merenja i detekcije promena na objektima značano je dobila na preciznosti.

Holografska interferometrija na talasnim dužinama od oko 10nm ima brojne prednosti. Nudi mogućnost preciznog merenja deformacija, a istovremeno je mnogo manje osetljiva na spoljašnje uticaje i holografski zapis se lako transformiše u 3D grafiku.

Koristeći isti referentni snop na jednoj foto-ploči dva puta se zapisuje slika predmeta. Ako je u vremenskom intervalu između ta dva zapisa predmet pretrpio neke promene (npr. pomerio se ili deformisao), između dva odgovarajuća predmetna snopa talasa pojaviće se trajektorijska razlika. Slika površine predmeta biće pokrivena sistemom pruga interferencije, analognih običnim prugama jednake debljine kod klasične interferencije.

Po položaju tih pruga mogu se izvesti zaključci o promenama na predmetu koje su se desile u vremenskom intervalu između dve ekspozicije, a računari snabdeveni softverom baziranim na veštačkoj inteligenciji mogu automatizovati, ubrzati i izoštriti detektovanje ovakvih promena.

Sofistikovane holografske tehnike su postale nezaobilazne u fundamentalnim naučnim istraživanjima kao što je kvantna mehanika. *Kvantna holografija* je nova optička metoda koja omogućava potpunu karakterizaciju jednofotonske prostorne talasne funkcije, uključujući vizualizaciju njene amplitude i faze, odnosno snimanje fotona.

Smatra se da će *holografske memorije* zbog potencijalno ogromnog kapaciteta i velike brzine biti u ne tako dalekoj budućnost sve prisutnije u računarskoj industriji.

2. Holografija u medicini i biomedicini

Hologrami su se zadnjih nekoliko godina počeli koristiti i u medicini.

Sem uobičajene, pretežno hirurške primene lasera u medicini, u novije vreme sve je prisutnija i holografija u istraživačkoj, edukativnoj i kliničkoj medicini.

Holografija implikuje revoluciju u polju medicine, kao alat za vizuelizovanje informacija o pacijentima, za obuku studenata i specijalizanata i brojne druge primene. Savremena holografija pomaže kako u medicinskoj dijagnostici tako i pri izvođenju složenih hirurških operacija.

Dugo se čekalo da se dosegne nivo tehnološkog razvoja na kojem teorija holografije postaje široko primenljiva. Iz tog razloga je holografija u medicini i dalje prilično nova oblast primene te je još uvek u fazi intenzivnog razvoja.

Ako se žele raditi ozbiljna merenja na temelju nekog snimljenog holograma, sam postupak izrade takvih holograma nije sasvim jednostavan i veoma je skup, a često zahteva i posebne uslove snimanja.

Mnoge medicinske oblasti generišu kompleksne informacije koristeći naprednu slikovnu tehnologiju poput skeniranja ultrazvukom ili magnetnu rezonancu. Uobičajeno, elektronske informacije se koriste da bi prikazale ravnu sliku na kompjuterskom ekranu.

Ovi informacije mogu da se upotrebe da proizvodu digitalizovane 3D holografske slike (Slika 3), monohromatske ili u prirodnim bojama, a ovo poslednje bi olakšalo učenje, proučavanje, dijagnostifikovanje, hirurške intervencije itd.

Na stanje perspektive primene holografije u medicini ukazuju nedavna poboljšanja u tehnikama snimanja holograma i dostupnost alata za interpretaciju holografskih interferograma te uspeh holografskih tehnika u snimanju kroz tkiva, zatim u oftalmologiji, stomatologiji, urologiji, otologiji, patologiji i ortopediji. Sve navedeno iskazuje snažno ubeđenje da će se holografija afirmisati kao moćan alat za medicinsku upotrebu.

2.1. Oblasti primene holografije u medicini

U radu su detaljno obrađene sledeće oblasti primene holografije u medicini:

- Holografsko skeniranje organizma,
- Holografija u oftalmologiji, stomatologiji i otorinolaringologiji,
- Rendgenska holografija,
- Holografska podrška savremenoj hirurgiji,
- Digitalna holografska mikroskopija, i
- Holografija u edukaciji lekara



Slika 3. Microsoft-ov holografski HoloLens vizir

Holografske interferometrijske tehnike već se uveliko koriste u biomedicini.

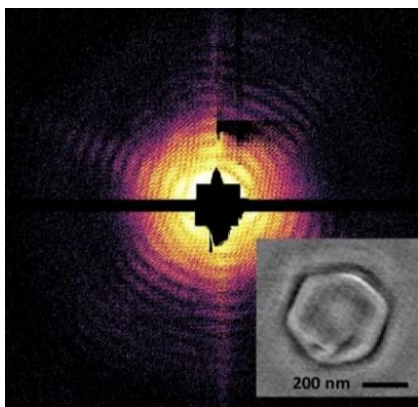
Medicinska holografska interferometrija na talasnim dužinama od oko 10nm ima brojne prednosti. Nudi mogućnost preciznog merenja deformacija, a istovremeno je mnogo manje osetljiva na spoljašnje uticaje i holografski zapis se lako transformiše u 3D grafiku.

Pored gore opisane holografske interferometrije koja se zasniva na metodu dvostruke ekspozicije, koristi se i tzv. holografska interferometrija realnog vremena. Kod tog metoda se na hologram zapisuje samo talas reflektovan predmetom u nekom početnom trenutku, tj. registruje se početno stanje predmeta. Zatim se, pri rekonstrukciji snopa, predmet ne uklanja, već se osvetljava na isti način kao i pri zapisu holograma. Kao rezultat nastaju dva talasa: talas koji se prostire od samoga predmeta u datom trenutku i talas rekonstruisan hologramom koji odgovara početnom stanju predmeta. Ti koherentni talasi interferiraju i posmatrajući kako se interferenciona slika menja u toku vremena mogu se izvesti zaključci o promenama stanja predmeta. Holografske interferometrijske tehnike se uspešno primenjuju za proučavanje različitih delova ljudskog tela - uključujući rožnjaču, pokretnost zuba, bubnu membranu, bazilarnu membranu, kohleu, temporalnu kost, inkubolarni zglobov, grudni koš, razne vrste zastoja u digestivnom traktu i kosti i dr.

Rendgenska holografija odnosno holografija bazirana na x-zracima ima potencijal ispitivanja uzoraka u vodenom rastvoru vrlo visoke rezolucije, bez potrebe za pripremom uzoraka, što je ranije često rezultiralo strukturnim izmenama, zapravo razarajućim oštećenjima u objektu koji se ispituje. Rendgenografski hologram ima odličnu rezoluciju i dobija se holografijom baziranom na Furijeovim transformacijama. Rendgenska holografija može se primeniti za snimanje unutrašnjih delova tela.

U poslednje vreme i u istraživanjima biološkog mikro sveta, pre svega u proučavanju bakterija i virusa (v. Sliku 4) sa kojima čovečanstvo već duže vreme vodi tešku bitku, jer su opasne epidemije i pandemije sve učestalije.

Endoskopska interferometrijska holografija je moćan alat za beskontaktno snimanje u visokoj rezoluciji i nerazorna merenja unutar prirodnih šupljina ljudskih unutrašnjih organa.



Slika 4. Prvi hologramski snimak virusa na bazi rendgenske holografije

Kombinovana holografija i termografija kroz jedan senzor može da kreira ravanski slojeviti hologram na bazi detektovanja termičkog odnosno infracrvenog zračenja.

Takođe je sve rasprostranjenija primena neelektromagnetne holografije bazirane na ultrazvuku za posmatranje i snimanje čovekovih unutrašnjih organa.

2.3. Perspektive razvoja holografije i njene dalje primene u medicini i biomedicini

Sve navedeno iskazuje snažno ubeđenje da će se holografija afirmisati kao moćan univerzalni alat koji uključuju i bogatu medicinsku upotrebu. Projektovanje 3D holografskih slika, statičkih ili dinamičkih, u realan fizički prostor je trend koji je prisutan poslednjih godina kako u svetu zabave tako i u naučnim, tehničko-tehnološkim i medicinskim primenama.

Holografske 3D slike očiju i interferometrijska ispitivanja ljudskih zuba i pokreta grudi tokom disanja već su izvedene sa visokom vernošću reprodukcije realiteta.

Potencijalne koristi od holografije koje se u skoroj budućnosti očekuju za kliničare uključuju [3]:

- intuitivno razumevanje prostorne anatomije i odnosa prema kolateralnoj vaskulaturi što obezbeđuje veću pouzdanost,
- omogućava veoma složene postupke pri intervenciji,
- vrhunsku obuku kako početničkih tako i iskusnih medicinskih kadrova,
- poboljšanje tačnosti i efikasnosti postupka, i
- smanjivanje vremena postupaka tokom intervencija, smanjenje doza zračenja, krvarenja itd.

U međuvremenu, nove tehnike vizualizacije na bazi holografije kao što je Microsoftov *HoloLens* - koji je sam po sebi već jedan veoma napredni računar - postaju do sada neprevaziđeno sredstvo za hirurge koji planiraju zamršene operacije, gde ima malo ili nimalo prostora za greške [4].

To funkcioniše otprilike ovako: pacijent se skenira pomoću CT (kompjuterizovana tomografija) ili MRI mašine (magnetna rezonanca). Rezultujuće dvodimenzionalne slike se zatim prikazuju u 3D obliku unutar *HoloLens* vizira/slušalice [4]. Uz pomoć njih lekar može tačno da utvrdi šta treba učiniti i kako.

3. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da prikaže tehnološke osnove holografije i opiše neke od najvažnijih primena ove oblasti. Poseban naglasak dat je primeni holografskog snimanja i projektovanja u raznim oblastima savremene medicine i tome je posvećen veći deo rada.

Takođe je ukazano na neke mogućnosti daljeg razvoja holografije.

Konačni zaključak jeste da su perspektive razvoja i primene holografije, posebno u realnom 3D domenu, fascinantne kako u multimedijalnom domenu, nauči i privredi, tako i u brojnim oblastima savremene medicine.

4. LITERATURA

- [1] <http://holography.phy.bg.ac.rs/clanak.php?r=br-33/INDEX-pojmova.html/> (pristupljeno u avgustu 2020.)
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Holography>
- [3] R. K. Kostuk, Holography: "Principles and Applications (Series in Optics and Optoelectronics) ", Boca Raton, FL: CRC Press, 2019
- [4] <https://news.microsoft.com/apac/features/hololens-medicine-surgery-no-surprises/> (pristupljeno u avgustu 2020.)

Kratka biografija:



Jovan Grgur rođen je 1996. godine u Gacku. Završio je gimnaziju u Gacku 2015. godine. Diplomski rad na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu odbranio je 2019. godine. Iste godine je upisao master studije u Novom Sadu na smeru Računarstvo i automatika.
kontakt: grgurjovan.jg@gmail.com

SIGURNA KLIJENT-SERVER KOMUNIKACIJA KORIŠĆENJEM KRIPTOČIPA I NB-IOT KOMUNIKACIONOG MODULA

SECURE CLIENT-SERVER COMMUNICATION USING CRYPTOCHIP AND NB-IOT COMMUNICATION MODULE

Dušan Bortnik, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratik sadržaj – U ovom radu je prikazana specifikacija i implementacija sigurne klijent-server komunikacije uz upotrebu kryptočipa putem NB-IoT mreže. Sigurna klijent-server veza je hardverski realizovana uz pomoć ATECC608a kryptočipa. NB-IoT komunikacija je ostvarena pomoću Quectel BC68 modula. Programaska podrška je realizovana u programskom jeziku C na mikrokontroleru ATSAML21J18B. Implementiran je i testiran bazični TLS1.3 protokol stek.

Ključne reči: TLS1.3, ATECC608a kryptočip, BC68 NB-IoT modul, TCP, HTTPs

Abstract – This paper examines specification and implementation of secure client-server communication with the usage of cryptochip over NB-IoT network. Secure client-server connection is hardware-based, established using ATECC608a cryptochip. NB-IoT communication is achieved using Quectel BC68 module. Software, written in C, is executed on microcontroller ATSAML21J18B. Basic TLS1.3 protocol is implemented and tested.

Keywords: TLS1.3, ATECC608a cryptochip, BC68 NB-IoT module, TCP, HTTPs

1. UVOD

Na polju mrežnih komunikacija, uvek je aktuelno pitanje sigurnosti. Pod sigurnom komunikacijom podrazumeva se komunikacija koja obuhvata tri stvari. To su poverljivost informacija (eng. *confidentiality*), očuvanost poruke (eng. *message integrity*) i identifikacija krajnjih učesnika komunikacije (eng. *end-point authentication*).

Pod poverljivošću informacija podrazumeva se da samo učesnici u komunikaciji (pošiljalac i primalac poruke) budu u stanju da razumeju sadržaj same poruke. Kako bi ovo bilo postignuto koriste se različite tehnike enkripcije. Očuvanost poruke podrazumeva da sadržaj poruke ostaje netaknut u toku njenog slanja.

Različite *checksum* tehnike je moguće primeniti kako bi ova osobina bila zadovoljena. Konačno, kod identifikovanja krajnjih učesnika komunikacije i pošiljalac i primalac su u stanju da uspešno prepoznaju suprotnu stranu u komunikaciji, odnosno da dokažu da je suprotna strana baš ona kojom se predstavlja.

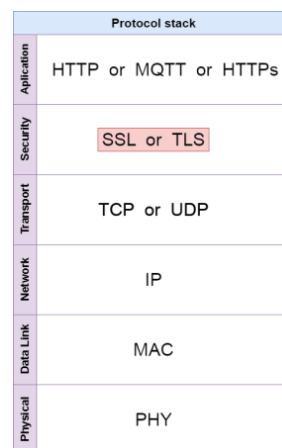
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivan Mezei, vanr. prof.

Ovo se rešava upotrebom različitih autentikacionih protokola. Više o ovome moguće je naći u literaturi [1].

Najznačajniji i najkorišćeniji protokol dizajniran da obezbedi sigurnu mrežnu komunikaciju jeste TLS protokol.

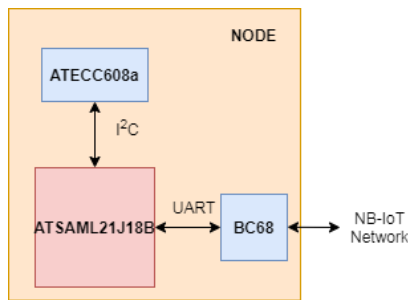
Transport Layer Security (skraćeno TLS) predstavlja dodatni sloj u arhitekturi mreže (eng. *protocol stack*), čija uloga jeste ostvarivanje sigurnog kanala između prijemne i predajne strane. *Protocol stack* je prikazan na slici 1. TLS zapravo predstavlja poboljšanu TCP konekciju, odnosno TCP konekciju u kojoj se primenjuju različite kriptografske tehnike kako bi se obezbedile sve navedene osobine sigurne komunikacije – poverljivost informacija, očuvanost poruke i identifikacija krajnjih učesnika komunikacije. Prema tome, TLS je zapravo „siguran“ TCP protokol, pa se stoga može koristiti svugde gde postoji gotova TCP infrastruktura. U okviru ovog rada realizovana su poslednja tri sloja *protocol stack*-a (transportni, bezbednosni i aplikacioni sloj) sa posebnim naglaskom na bezbednosni. U drugom poglavlju diskutovane su korišćene tehnologije, dok je u poglavlju tri dat osvrt na sam koncept rešenja i realizaciju.



Slika 1. *Protocol stack*

2. KORIŠĆENE TEHNOLOGIJE

Kompletna klijent-server komunikacija između jednog čvora u mreži i udaljenog servera realizovana je korišćenjem mikrokontrolera ATSAML21J18B i dodatnih perifernih komponenti – kryptočipa ATECC608a i NB-IoT modula BC68. Sve korišćene komponente su integrisane na PCB-u koji predstavlja jedan čvor (eng. *node*) u mreži. Pojednostavljena struktura čvora prikazana je na slici 2.



Slika 2. Struktura čvora

2.1. ATSAML21J18B mikrokontroler

Microchip-ov 32-bitni mikrokontroler izuzetno niske potrošnje ATSAML21J18B obezbeđuje funkcionalnost čvora u mreži. Pored niske potrošnje energije, odlikuje ga i ARM Cortex-M0+ mikroprocesor, 256kB Flash memorije i temperaturni opseg od -40°C do 105°C.

2.2. NB-IoT komunikacija

Veza sa serverom putem *Narrowband IoT* (NB-IoT) mreže je ostvarena pomoću modula BC68. Komunikacija mikrokontrolera i BC68 modula se vrši putem UART-a.

Quectel BC68 predstavlja NB-IoT modul koji omogućava rad sa različitim mrežnim protokolima uz nisku potrošnju energije. Iz tog razloga često nalazi primenu u različitim IoT aplikacijama. Za komunikaciju sa modulom koriste se standardne AT komande (*test*, *read*, *write* i *execution*) date u sledećem formatu:

$$AT+<cmd> x \quad (1)$$

gde x predstavlja vrednosti $\{=, , < \dots, >, ?\}$ u zavisnosti od tipa komande.

Nakon procesiranja svake poruke modul vraća odgovarajuću povratnu informaciju i nakon toga, indikaciju uspešnosti operacije (OK, ERROR ili +CME ERROR:<err>).

Pored standardnih komandi za inicijalizaciju modula, za realizaciju TCP sloja od interesa su sledeće komande: AT+NSOCR, AT+NSOCO, AT+NSOSD, AT+NSORF i AT+NSOCL.

AT+NSOCR komanda obavlja kreiranje soketa i njegovu konfiguraciju. Kao povratna informacija dobija se broj *socket*-a i indikacija uspešnosti OK (ili kod greške, ukoliko greška postoji).

AT+NSOCO komanda vrši uspostavljanje peer-to-peer konekcije sa udaljenim serverom na odgovarajućem *socket*-u. Kao povratna informacija dobija se indikacija uspešnosti OK (ili kod greške, ukoliko greška postoji).

AT+NSOSD komanda vrši slanje TCP paketa ka odgovarajućem serveru. Kao povratna informacija dobija se broj *socket*-a i broj bajtova poslate informacije (format poruke <soc>,<len>), kao i indikacija uspešnosti OK (ili kod greške, ukoliko greška postoji).

AT+NSORF komanda vrši prijem podataka na odgovarajućem *socket*-u u traženoj količini. Kada podaci pristignu na *socket* generisaće se +NSONMI kao indikacija pristiglih podataka. Kao povratna informacija dobija se broj *socket*-a, IP adresa servera, port, broj bajtova primljene informacije, podaci i preostala dužina podataka koju je potrebno pročitati (format poruke <soc>,<ip_addr>,<port>,<len>,<data>,<rem_len>), kao i indikacija uspešnosti OK (ili kod greške, ukoliko greška postoji).

AT+NSOCL komanda obavlja zatvaranje odgovarajućeg *socket*-a. Kao povratna informacija dobija se indikacija uspešnosti OK (ili kod greške, ukoliko greška postoji).

Više informacija o ovom modulu i ostalim komandama moguće je naći u *datasheet*-u, datom u [2].

2.3. Kriptočip ATECC608a

Sve kriptografske operacije neophodne za realizaciju TLS sloja implementirane su korišćenjem Microchip-ovog kriptočipa ATECC608a.

ATECC608a kriptočip je integrisano kolo koje omogućava čuvanje kriptografskih ključeva, kao i akceleraciju različitih kriptografskih algoritama. Čip sadrži EEPROM memoriju u kojoj je moguće čuvati do 16 različitih privatnih ključeva, sertifikata i ostalih „tajnih“ podataka. Pored toga, postoji i statička RAM (SRAM) memorija u kojoj je moguće čuvanje privremenih ključeva i različitih međurezultata koji su validni sve dok postoji napon napajanja.

Komunikacija sa kriptočipom se vrši putem standardnog I²C interfejsa. Kriptočip podržava generisanje parova javni-privatni ključ korišćenjem *NIST standard P256 prime* krive uz ECDH (*Elliptic-curve Diffie-Hellman*) *key-agreement* i ECDSA *signature verification* protokol. Takođe, podržani su i standardni algoritmi kao što su AES-128, SHA256 i različite varijacije SHA (HMAC, PRF i HKDF). Pored toga, u okviru kriptočipa nalazi se i generator pseudo-slučajnih brojeva visoke entropije koji, između ostalog, omogućava i generisanje privatnih ključeva.

Prilikom realizacije TLS sloja, od interesa su sledeće komande u okviru kriptočipa: AES, ECDH, GenKey, KDF, Nonce i SHA.

AES komanda izvršava standardni AES algoritam u ECB ili GCM modu (enkripciju i dekripciju).

ECDH komanda generiše *pre-master secret* na osnovu klijentovog privatnog i serverovog javnog ključa ili obrnuto.

GenKey komanda služi za generisanje ECC javnog ključa na osnovu odgovarajućeg privatnog ključa.

KDF komanda implementira odgovarajuću *key derivation* funkciju. Od posebnog značaja za TLS protokol je **HKDF** funkcija (postoji kao ugrađeni mod KDF komande).

Nonce komanda omogućava upis vrednosti na ulazu u SRAM registar (TempKey).

SHA komanda izračunava SHA-256 funkciju koja na izlazu kao rezultat daje obrađeni 32-bitni heš.

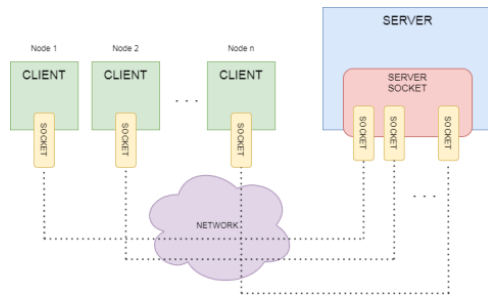
Glavni razlog za upotrebu kriptočipa ogleda se u značajno većoj brzini izvršavanja kriptografskih operacija u hardveru u odnosu na standardna softverska rešenja. Takođe, zahvaljujući internoj memoriji kriptočipa u okviru koje je moguće smeštanje ključeva, verovatnoća njihovog otkrivanja je svedena na minimum.

Više informacija o kriptočipu ATECC608a i ostalim komandama moguće je naći u [3].

2.3. Klijent-server arhitektura

Čitav sistem sa n čvorova i jednim serverom implementira standardnu centralizovanu klijent-server arhitekturu. Klijent-server arhitektura prikazana je na slici 3.

Svaki od n čvorova šalje zahtev radi ostvarivanja komunikacije sa serverom putem radio komunikacionog kanala (NB-IoT mreža). Server predstavlja udaljeni računar koji sakuplja informacije sa pojedinačnih čvorova, obrađuje ih na odgovarajući način i šalje povratnu informaciju. Način same komunikacije opisan je u nastavku.



Slika 3. Klijent-server arhitektura

3. KONCEPT REŠENJA I REALIZACIJA

U naredna tri poglavlja opisan je koncept rešenja i implementacija poslednja tri sloja *protocol stack*-a.

3.1. Realizacija transportnog sloja – TCP

Transmission Control Protocol (skraćeno TCP) protokol razvijen je upotrebom gore navedenih komandi NB-IoT modula BC68.

Na samom početku, vrši se kreiranje *socket*-a na odgovarajućoj IP adresi i odgovarajućem portu. Nakon toga, potrebno je uspostaviti TCP konekciju sa serverom. Nakon uspešnog uspostavljanja konekcije, moguće je vršiti slanje ka i primanje podataka od strane servera. Prilikom okončavanja komunikacije sa serverom, potrebno je zatvoriti prethodno otvoreni *socket*.

Primer TCP komunikacije sa serverom koja se sastoji od slanja i primanja jedne poruke korišćenjem BC68 modula prikazana je na sledećem listingu.

```
//Create a socket using NSOCR command
AT+NSOCR=STREAM,6,0,1
// Received socket number
1
// Success flag
OK
//Connect to the server using NSOCO command
AT+NSOCO=1,192.247.24.38,1234
// Success flag
OK
//Send message using NSOSD command
AT+NSOSD=1,4,01020304,0x100,101
// Received: socket number, number of data being sent
1,4
// Success flag
OK
//NSONMI unsolicited message - data has been received
+NSONMI:1,4
//Read received data using NSORF command
AT+NSORF=1,4
// Received: socket number, IP address, port number, number of
data being received, data, remaining data
1,192.247.24.38,1234,4,1a2b3c4e,0
// Success flag
OK
//Close socket using NSOCL command
AT+NSOCL=1
// Success flag
OK
```

Listing 1. TCP komunikacija pomoću BC68 modula

3.2. Realizacija bezbednosnog sloja – TLS

Nakon realizacije TCP komunikacije, moguće je implementirati TLS protokol kao njegovo unapređenje. U okviru ovog rada implementirana je poslednja verzija TLS protokola 1.3. TLS1.3 *handshake* protokol se sastoji iz nekoliko osnovnih faza. Ove faze, kao i čitav *handshake* deo protokola prikazan je na slici 4. Inicijalno, nakon uspostavljanja TCP konekcije sa serverom, klijent šalje *Client Hello* poruku u okviru koje je se nalazi lista *cipher suite*-ova koje klijent podržava, kao i klijentov javni ključ. Uzimajući u obzir da je pomoću datog kriptočipa moguće izvršavati AES128 GCM enkripciju/dekripciju i SHA256 heš algoritam, jedini validan *cipher suite* koji klijent podržava i prosleđuje serveru je TLS_AES_128_GCM_SHA256 *cipher suite*. Klijentov javni ECC ključ se generiše korišćenjem *genKey* komande. Nakon toga, server šalje *Server Hello* paket u okviru kog se nalazi serverov javni ključ i izabrani *cipher suite* (u ovom slučaju jedini koji klijent podržava – TLS_AES_128_GCM_SHA256). Nakon *Server Hello* paketa, server šalje *Server Encrypted Extensions*, *Server Certificate*, *Server Certificate Verify* i *Server Finished* pakete. Svi paketi su enkriptovani pomoću *server handshake key*-a i na kraju uvek poseduju tag za autentikaciju (*Auth tag*). U međuvremenu, klijent je dužan da pomoću svog privatnog ključa i serverovog javnog ključa odredi *shared secret* pomoću ECDH komande kriptočipa. Takođe, potrebno je izvršiti i izračunavanje heša svih *handshake* poruka do tog trenutka pomoću SHA komande kriptočipa. Nakon toga, vrši se računanje četiri *handshake* ključa: *client handshake* ključa, *server handshake* ključa, *client handshake* inicijalizacionog vektora (IV) i *server handshake* inicijalizacionog vektora (IV). Ovo se radi korišćenjem *HKDF-Extract* i *HKDF-Expand* funkcija. Ove funkcije moguće je implementirati pomoću KDF komande kriptočipa. Uzimajući u obzir da KDF komanda obavlja jednu iteraciju HMAC-SHA256 algoritma, ove funkcije su implementirane na osnovu njihove specifikacije date u [4]. Pseudokod koji demonstrira način na koji se formiraju klijentski ključevi dat je na sledećem listingu.

```
early_secret = HKDF-Extract(
    salt = 00, key = 0x00000000)
empty_hash = SHA256(empty string)
derived_secret = HKDF-Expand(
    key = early_secret,
    label = "derived", context = empty_hash, output_length = 32)
handshake_secret = HKDF-Extract(
    salt = derived_secret, key = shared_secret)
client_handshake_traffic_secret = HKDF-Expand(
    key = handshake_secret,
    label = "c hs traffic", context = hello_hash, output_length = 32)
client_handshake_key = HKDF-Expand(
    key = client_handshake_traffic_secret,
    label = "key", context = empty string, output_length = 16)
client_handshake_iv = HKDF-Expand(
    key = client_handshake_traffic_secret,
    label = "iv", context = empty string, output_length = 12)
```

Listing 2. Pseudokod za računanje handshake ključeva

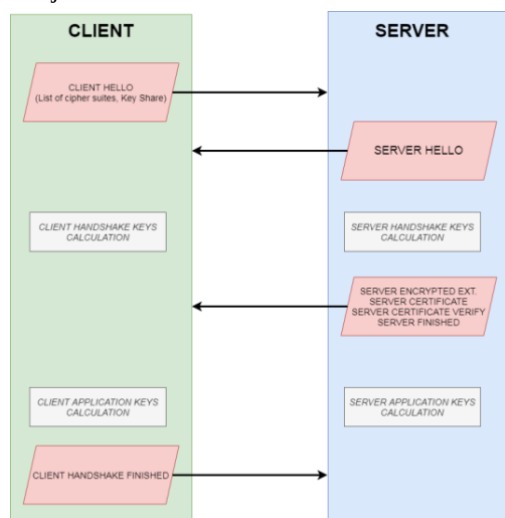
Serverski ključevi se računaju na isti način kao i klijentski, uzimajući u obzir jednu izmenu, ime labele. U slučaju servera, prilikom računanja *server handshake traffic secret*-a koristi se labela sa nazivom „s hs traffic”.

Pomoću ovih ključeva je sada moguće kompletirati čitav *handshake* protokol. Kao prvo, potrebno je izvršiti dekripciju četiri poruke ranije pristigle od strane servera pomoću *server handshake* ključa i IV-a. Nakon njihove dekripcije, klijent je u obavezi da izračuna *verify data* i pošalje finalni paket ka serveru i time kompletira *handshake* deo protokola. *Finished key* se računa na osnovu *client traffic handshake secret*-a pomoću KDF komande kriptočipa. Pored toga, pomoću SHA komande potrebno je izračunati i SHA256 heš svih primljenih poruka (dekriptovanih) do tog trenutka. Konačno, na osnovu *finished key*-a i izračunatog heša moguće je izračunati *verify data*. Tako izračunat, enkriptuje se pomoću *client handshake* ključa i IV-a, a potom se prosleđuje ka serveru. Time je *handshake* deo protokola završen. Pseudokod ovih operacija dat je na listingu 3.

```
finished_key = HKDF-Expand(
    key = client_handshake_traffic_secret,
    label = "finished", context = empty string, output_length = 32)
finished_hash = SHA256(all messages from Client Hello to Server Finished)
verify_data = HMAC-Extract(
    salt = finished_key,
    key = finished_hash)
```

Listing 3. Pseudokod za računanje *verify data*

Na vrlo sličan način, implementira se i računanje ključeva za primopredaju aplikacionog sadržaja. Nakon računanja aplikacionih ključeva i aplikacionih inicijalizacionih vektora moguće je vršiti razmenu podataka između dve strane. Klijent koristi isti enkripcioni algoritam i uz upotrebu izračunatih aplikacionih ključeva enkriptuje korisne podatke, određuje autentikacioni tag i šalje poruku ka serveru. Shodno tome, server šalje odgovarajuću povratnu informaciju.



Slika 4. TLS1.3 handshake deo protokola

3.3. Realizacija aplikacionog sloja – HTTP i HTTPs

Hypertext Transfer Protocol (skraćeno HTTP) je protokol aplikacionog sloja koji se, u najopštijem smislu, bazira na slanju komandi ka serveru (*request*) i prijemu povratne informacije od strane servera (*response*). Naime, nakon uspostavljanja TCP konekcije između klijentske i server-ske strane, klijent šalje neku od postojećih HTTP komandi (GET, HEAD, PUT, OPTIONS itd.) ka serveru u odgovarajućem formatu. U zavisnosti od poslate komande, server šalje adekvatan odgovor.

Ukoliko između transportnog i aplikacionog sloja postoji i bezbednosni sloj, odnosno ukoliko se umesto TCP konekcije implementira TLS konekcija, ostvaruje se *Hypertext Transfer Protocol Secure* (skraćeno HTTPs) protokol. Na ovaj način se obezbeđuje sigurni kanal ka serveru preko nezaštićene mreže. Postojeće komande HTTP protokola su i dalje validne, s tim da se u slučaju HTTPs protokola one šalju ka serveru tek nakon što se ostvari TLS *handshake* faza između klijenta i servera. Pored toga, one su enkriptovane klijentskim aplikacionim ključem i IV-om izračunatim nakon *handshake*-a. Drugim rečima, u HTTPs protokolu, HTTP komande se šalju kao aplikacioni sadržaj u okviru TLS protokola. Time je HTTPs protokol implementiran.

4. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada implementirana su poslednja tri sloja internet *protocol stack*-a, sa naglaskom na sigurnosni sloj. Sve kriptografske operacije u okviru TLS protokola izvršene su pomoću kriptočipa ATECC608a. Glavni razlog za njegovu upotrebu bila je značajno veća brzina izvršavanja operacija hardverskim putem, u odnosu na iste operacije implementirane pomoću softvera. Komunikacija sa serverom putem NB-IoT mreže ostvarena je pomoću Quectel-ovog modula BC68. Celokupan kod izvršava se na mikro-kontroleru ATSAML21J18B i napisan je u programskom jeziku C.

Prema tome, omogućena je sigurna komunikacija između čvorova na *edge*-u (klijent) i centralizovane jedinice (server) putem nebezbedne mreže, što je i bio cilj.

Budući da je u ovom radu implementiran bazični TLS protokol u okviru koga server ne zahteva sertifikat od strane klijenta, dodatni prostor za napredak u pogledu bezbednosti ogleda se u mogućnosti implementacije takve komunikacije, u kojoj bi se od klijenta tražilo da serveru dostavi svoj sertifikat. Na taj način, sigurnost bi bila dodatno poboljšana. Takođe, ukoliko bi klijent iskoristio *session ticket*-e poslate od strane servera, značajan napredak bio bi ostvaren i u pogledu brzine uspostavljanja nove TLS konekcije, odnosno njenog nastavka (*resumption*). Međutim, nedostatak ovoga bila bi donekle smanjena sigurnost komunikacije.

5. LITERATURA

- [1] J. Kurose, K. Ross, "Computer Networking: A Top-Down Approach 6th Edition", Pearson, pp. 672-755, 2013.
- [2] Quectel BC68 Datasheet: <https://www.quectel.com/product/bc68.html> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [3] Microchip ATECC608a datasheet: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATECC608A> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [4] RFC8446 : <https://tools.ietf.org/html/rfc8446> (pristupljeno u septembru 2020.)

Kratka biografija:



Dušan Bortnik rođen je u Novom Sadu 1996. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Embedded sistemi i algoritmi odbranio je 2019.god.
kontakt: bortnik@uns.ac.rs

REALIZACIJA BOOTLOADER-A ZA BEŽIČNO AŽURIRANJE APLIKACIJA PUTEM NB-IOT KOMUNIKACIJE**IMPLEMENTATION OF BOOTLOADER FOR WIRELESS UPDATE OF APPLICATIONS USING NB-IOT COMMUNICATION**

Vladimir Nikić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu je prikazana realizacija bežičnog ažuriranja aplikacije na mikrokontroleru. Rad sadrži opis aplikacija koje su potrebne za uspostavljanje NB-IoT komunikacije između mikrokontrolera i servera, preuzimanje korisničke aplikacije i njeno pokretanje nakon ažuriranja. Nabrojane i objašnjene su komponente koje su upotrebljene prilikom razvoja, realizacije i testiranja Bootloader-a.

Ključne reči: Bootloader, Bežično ažuriranje, NB-IoT

Abstract – This paper presents the implementation of wireless application update on a microcontroller. The paper contains a description of applications needed to establish NB-IoT communication between microcontroller and server, download the user application and execute it after the update. The components that are used during the development, implementation and testing of the Bootloader are listed and explained.

Keywords: Bootloader, Wireless update, NB-IoT

1. UVOD

Internet stvari (eng. *Internet of Things*, skraćeno IoT) su objekti koji imaju ugrađenu elektroniku, često mikrokontrolere, koji sadrže softver i sa kojima su povezane različite vrste senzora.

Ovi objekti nisu usamljeni, već se nalaze u sklopu većeg sistema, gde su svi elementi međusobno povezani putem mreže. U okviru ovog sistema svaki objekat je kontrolisan ili nadgledan. Njegovi parametri se prosleđuju u mrežu gde ih drugi objekti koriste i prilagođavaju svoj rad drugima.

Kako je u praksi često potrebno da IoT uređaji budu postavljeni na lokacijama na kojima nije moguće obezbediti stalan izvor napajanja, potrebno je koristiti energetske najefikasnije uređaje, što su uobičajeno mikrokontroleri. Pored toga što na lokacijama nije obezbeđen stalan izvor napajanja, one mogu biti i fizički teško pristupačne. Imajući to u vidu i da se na njima izvršava samo jedna aplikacija, može se zaključiti da je zamena aplikacije komplikovan proces. Konačno, uzimajući u obzir da se u praksi često koriste sistemi koji imaju veći broj ovakvih uređaja, zamena aplikacije podrazumeva da se svakom uređaju treba pristupiti i ručno izvršiti ažuriranje.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivan Mezei, vanr.prof.

Ovo zahteva veliki napor, kako fizički tako i vremenski, u slučajevima kad sistemi imaju nekoliko desetina ili stotina istih uređaja koji trebaju da se ažuriraju.

Navedeni problem predstavlja razlog razvoja uređaja koji imaju sposobnost bežičnog ažuriranja aplikacije, što predstavlja i temu ovog rada.

Kako bi se obezbedilo bežično ažuriranje aplikacije, potrebno je razviti tri aplikacije.

Prva aplikacija se nalazi na serveru i njen zadatak je da mikrokontroleru šalje novu verziju korisničke aplikacije.

Druga aplikacija je korisnička aplikacija čiji jedan deo je namenjen ostvarivanju komunikacije sa serverom, preuzimanje nove verzije i smeštanje u eksternu memoriju.

Konačno, treća aplikacija je Bootloader koja ima zadatak da trenutnu korisničku aplikaciju zameni novom.

U drugom delu rada dat je opis sistema u kojem su predstavljene komponente potrebne za realizaciju sistema. Treći deo rada obrađuje realizaciju gore navedenih aplikacija. Konačno, četvrti deo rada daje pregled mogućih unapređenja sistema.

2. OPIS SISTEMA

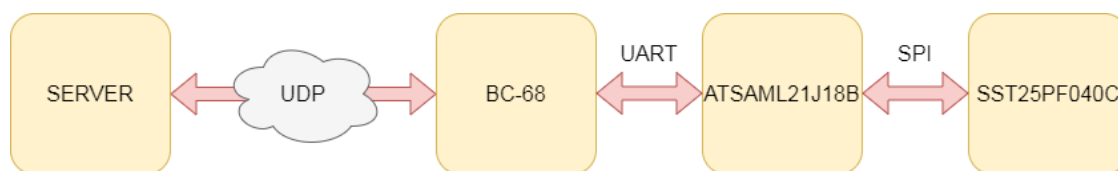
Sistem u kojem je realizovan Bootloader sadrži mikrokontroler *ATSAML21J18B* [1], NB-IoT modul *BC68* [2], fleš memoriju *SST25PF040C* [3] i server.

2.1. Mikrokontroler ATSAML21J18B

Centralnu komponentu sistema predstavlja *Microchip*-ov mikrokontroler *ATSAML21J18B*. Ovaj 32-bitni mikrokontroler ima osobinu vrlo male potrošnje prilikom rada na frekvenciji do 48 MHz zbog čega je idealan za primenu u IoT-u.

Za rad sa ovim mikrokontrolerom, *Microchip* je obezbedio besplatno softversko razvojno okruženje *Atmel Studio 7.0*. U okviru ovog okruženja nalazi se alat *Atmel Start* koji omogućava konfigurisanje mikrokontrolera, gde se na jednostavan način aktiviraju komponente, pinovi i povezuju izvori taktnog signala.

Takođe ovaj alat generiše kostur projekta na osnovu konfiguracije u kojem su uključene biblioteke potrebne za rad sa aktiviranim komponentama. Pored ovog alata, prisutni su kompajler i programator, koji putem *PowerDebugger*-a ažurira aplikaciju na mikrokontroleru.



Slika 1. Povezivanje sistema

2.2. NB-IoT modul BC68

BC68 je modul kompanije *Quectel* koji omogućava komunikaciju putem *Narrowband IoT* (skraćeno NB-IoT). Kao i ATSAML21J18B, ovaj modul ima osobinu male potrošnje. Za uspostavljanje komunikacije ovaj modul koristi SIM karticu. BC68 omogućava komunikaciju putem širokog spektra protokola, uključujući UDP koji je upotrebljen u ovom radu.

2.3. Fleš memorija SST25PF040C

Fleš memorija SST25PF040C kapaciteta 4Mbit-a je komponenta koja omogućava skladištenje preuzete aplikacije pre njenog smeštanja u programsku memoriju. Ova memorija omogućava upis podataka na nivou strane (eng. *page*). Postoje mogućnosti običnog čitanja podataka kao i visoko performanskog čitanja. Konačno, fleš memorija ima mogućnost brisanja na nivou bloka (64KB) ili sektora (4KB).

2.4. Povezivanje sistema

Sistem je podeljen na dva dela, prvi deo predstavlja server na kojem se nalazi aplikacija i drugi deo koji čine komponente zadužene za preuzimanje aplikacije i njeno pokretanje. To su mikrokontroler, NB-IOT modul i fleš memorija. Ova dva dela povezana su putem NB-IOT mreže koristeći UDP protokol (eng. *Universal Datagram Protocol*).

Drugi deo sistema se može nalaziti na istoj štampanoj ploči ili je realizovan pomoću diskretnih komponenti. Bez obzira na način implementacije, mikrokontroler je povezan sa periferijama putem *SERCOM*-a koji predstavlja univerzalni serijski interfejs. Koriste se dva *SERCOM*-a, jedan za komunikaciju sa SST25PF040C konfigurisan da implementira Serijski periferni interfejs (eng. *Serial peripheral interface*, skraćeno SPI). Drugi *SERCOM* se koristi za komunikaciju sa BC68 i implementira Univerzalni asinhroni prijemnik i predajnik (eng. *Universal asynchronous receiver-transmitter*, skraćeno UART).

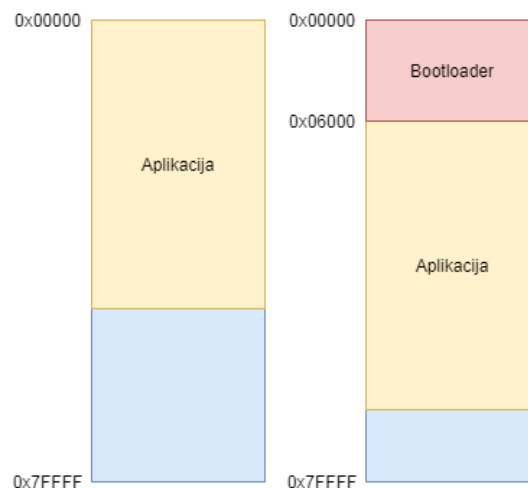
3. KONCEPT REŠENJA I REALIZACIJA

U narednim poglavljima dat je opis aplikacija koje su potrebne za implementaciju bežičnog ažuriranja.

3.1. Programska memorija mikrokontrolera

Mikrokontroler ATSAML21J18B poseduje 256KB programske fleš memorije u kojoj se nalazi aplikacija koja se izvršava na njemu. U običnom režimu rada mikrokontrolera, kad ne postoji Bootloader, čitav sadržaj memorije je na raspolaganju korisničkoj aplikaciji (prikazano u prvom delu slike 2). Međutim, ukoliko je na mikrokontroleru potrebno implementirati Bootloader, sadržaj programske memorije se deli na dve celine (prikazano u drugom delu slike 2). Uobičajno je da se prvi deo memorije dodeli Bootloader-u, dok se drugi deo memorije ostavlja na raspolaganju korisničkoj aplikaciji. Praksa je

da se Bootloader-u dodeli minimalna količina prostora koja je potrebna da bi on bio implementiran, a da se što više prostora ostavi korisniku za implementaciju željenih funkcionalnosti.



Slika 2. Programska memorija

Kako su Bootloader i korisnička aplikacija dve aplikacije koje treba da se nađu u istoj programskoj memoriji, potrebno je podesiti početne adrese na kojima se svaka od njih treba naći. Ovo se postiže konfigurisanjem linkera, tako da Bootloader počinje od adrese 0x00000, dok se korisnička aplikacija nalazi na adresi 0x06000.

3.2. Drajver za SST25PF040C

Komunikacija sa SST25PF040C fleš memorijom se realizuje putem SPI interfejsa. Ovaj interfejs poseduje taktni signal SCK, signale za prenos podataka MOSI i MISO i konačno signal za selektovaje CE. Signal MOSI se najčešće koristi za slanje podataka od mikrokontrolera ka memoriji, dok se MISO signal koristi prenos podataka u suprotnom smeru.

Memorija se deli na strane koje predstavljaju sukcesivne celine od 256B, zatim sektore koji se sastoje od 4KB i konačno blokova koji se sastoje od 64KB memorijskog prostora. Ova podela je značajna zato što se brisanje podataka vrši na nivou nabrojanih celina.

Komande koje se koriste prilikom rada sa fleš memorijom su:

Read – komanda za čitanje podataka iz memorije. Mikrokontroler šalje kod komande i početnu adresu sa koje želi da učitava neodređen broj podataka. Fleš šalje podatke redom od željene lokacije pa do kraja memorijskog prostora sve dok mikrokontroler ne postavi signal CE na vredost 1.

Write enable/disable – komande koje omogućavaju ili zabranjuju korišćenje komandi koje menjaju sadržaj memorijskih lokacija, to su Page-Program i Erase naredbe.

Page-Program – je komanda koja služi za upisivanje sadržaja u memoriju. Fleš memorija SST25PF040C omogućava upis podataka samo na nivou strane. Mikrokontroler šalje kod komande, zatim adresu na koju želi da upiše podatke i na kraju niz podataka koji treba da se upiše počevši od željene adrese.

Erase komande – su komande koje brišu sadržaj memorije. Postoje **Sector-Erase**, **Block-Erase** i **Chip-Erase** koje brišu sadržaj sektora, bloka i celog čipa.

3.3. Drajver za BC68

Za komunikaciju između modula BC68 i mikrokontrolera koristi se UART interfejs. Ovaj interfejs omogućava komunikaciju preko dva signala, Rx koji služi za prijem podataka i Tx koji služi za slanje podataka.

Upravljanje modulom BC68 vrši se slanjem poruka koje predstavljaju stringove oblika „AT+<cmd>_”, gde se na mesto <cmd> postavlja niz karaktera koji označava određenu komandu. Simbol _ se može zameniti sa „=?” , „?” , „=<...>” ili „_” u zavisnosti od toga koja funkcionalnost treba da se realizuje.

Za potrebe bežičnog ažuriranja aplikacije, od BC68 se očekuje da omogući komunikaciju putem UDP protokola. UDP protokol nema implementiranu sinhronizaciju između pošiljaoca i primaoca poruke. Komunikacija se odvija asinhrono, tako što pošiljalac šalje podatke kad on to želi. Ovim protokolom se dobija na brzini, jer ne postoji nikakva procedura rukovanja (eng. *handshake*), međutim gubi se na pouzdanosti zbog čega je potrebno izvršiti proveru primljenih podataka.

Najznačajnije komande koje su korišćene za realizaciju UDP komunikacije su date u nastavku.

NSOCR – komanda koja služi za pravljenje socket-a. Kao parameter prima tip soketa koji je potrebno napraviti što je UDP, zatim port koji treba da sluša.

NSOCL - predstavlja komandu koja zatvara parametrom prosleđen socket.

NSOST – komanda koja služi za slanje podataka koristeći UDP protocol. Prosleđuju joj se kao parametri socket preko kojeg se podaci šalju, zatim broj podataka koji se šalju i konačno sami podaci.

NSORF – komanda čija je uloga da primi podatke preko UDP protokola. Prosleđuju joj se kao parametri socket i broj podataka koje treba preuzeti.

3.4. Serverska aplikacija

Serverska aplikacija je zadužena za slanje izvršnog koda. Ovaj proces podrazumeva učitavanje izvršnog koda iz .hex fajla, iz kog se određuju parametri koda, početna adresa na kojoj kod treba da se nađe u programskoj memoriji i dužina samog koda. Zatim se vrši preprocesiranje koda u vidu određivanja CRC32 vrednosti koja štiti integritet prilikom slanja. Kada je proces učitavanja i preprocesiranja završen, server otvara soket na koji mikrokontroler može da se poveže.

Komunikacija između mikrokontrolera i servera se vrši putem UDP protokola. Mikrokontroler šalje 7 bajtove koje server učitava i dekoduje. Prvi bajt poruke označava tip komande koja sledi. Koriste se dve komande:

Info - komanda koja zahteva od server da pošalje informacije o kodu. Prvi bajt ove komande ima vrednost 0x42,

dok ostali bajtovi mogu imati proizvoljnu vrednost. Ukoliko server primi ovu komandu odgovara sa 12 bajtova, gde bajtovi 0-3 predstavljaju vrednost početne adrese memorije. Bajtovi 4-7 predstavljaju broj bajtova koji kod zauzima, odnosno dužinu koda. Konačno, bajtovi 8-11 sadrže vrednost CRC32 koja je izračunata za ceo kod. Sve vrednosti su predstavljene u *BigEndian* zapisu.

Data – je komanda koja zahteva od servera da mikrokontroleru pošalje kod zadate dužine počevši od određene adrese. Prvi bajt komande ima vrednost 0xD1, bajtovi 1-4 predstavljaju početnu adresu od koje kod treba da se šalje. Na kraju, poslednja dva bajta, 5-6, predstavljaju dužinu koda koji treba da se pošalje. Obe vrednosti su predstavljene u *BigEndian* zapisu. Server zatim šalje odgovarajuću količinu koda mikrokontroleru.

3.5. Korisnička aplikacija

Korisnička aplikacija se razvija tako da ima mogućnost da iskoristi postojeći Bootloader za potrebe bežičnog ažuriranja. Detaljan opis Bootloadera dat je u sekciji 3.6. Ova aplikacija je zadužena za preuzimanje nove verzije sa servera, proveru integriteta i konačno smeštanje u eksternu fleš memoriju. Nabrojane funkcionalnosti su implementirane u sklopu veće aplikacije, gde one predstavljaju samo jednu podcelinu namenjenu za ažuriranje.

3.5.1. Preuzimanje nove verzije korisničke aplikacije

Uzimajući u vidu da je za potrebe komunikacije sa serverom potrebno koristiti BC68 modul, potrebno ga je na početku aktivirati slanjem komande za inicijalizaciju. Zatim je potrebno poslati komandu za otvaranje sockete i povezivanje na server. Nakon toga se šalje komanda koja zahteva informacije o kodu. Mikrokontroler zatim čeka da stigne odgovor od servera koji učitava iz BC68 i parsira ga tako da dobija vrednosti početne adrese koda, dužine i CRC32 vrednost. Kako nije moguće preuzeti ceo kod, zato što je za njegovo skladištenje potrebno onoliko memorije koliko on ima bajtova, što nije racionalno korišćenje memorije, preuzimanje koda se vrši u stranama od 256 bajtova, što odgovara mogućnostima upisa u fleš memoriju.

Mikrokontroler zatim sukcesivno šalje serveru Data komandu počevši od početne adrese, svaki put povećavajući za 256 bajtova ili, ukoliko je na redu poslednji paket, onoliko koliko je preostalo. Kod koji dobije kao odgovor privremeno skladišti u SRAM memoriji. Nakon prijema svih bajtova, vrši se njihovo prebacivanje u fleš memoriju koristeći komandu Page-Program. Kod se u fleš memoriju smešta tako da jedna strana sledi drugu, tj. ne postoje praznine između dve strane u kojima se skladišti kod. Takođe potrebno je ispoštovati redosled koda u memoriji.

3.5.2. Provera integriteta korisničke aplikacije

Provera integriteta podrazumeva proveru validnosti koda nakon njegovog preuzimanja i smeštanja u memoriju. Potrebno je detektovati da li je došlo do promene u kodu prilikom prenošenja bežičnim putem. Ovo se može postići različitim metodama. Metoda koja je odabrana u ovom radu je CRC (eng. *Cyclic Redundancy Check*).

Ona se zasniva na ostatku pri deljenju sadržaja poruke odgovarajućim polinomom. Korišćen je CRC32 kod koji se zasniva na polinomu 32-og reda. Standardan oblik polinoma dat je u nastavku.

$$P_n(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 \quad (1)$$

Algoritam za izračunavanje CRC32 se izvršava prvo na serveru. Server svoju dobijenu vrednost šalje mikrokontroleru kao odgovor na Info komandu. Nakon što mikrokontroler smesti ceo kod u fleš memoriju, počinje da ga učitava bajt po bajt i prosleđuje ga ugrađenoj komponenti mikrokontrolera čija je funkcionalnost računanje CRC32. Nakon što izračuna vrednost CRC32 posle prosleđivanja poslednjeg bajta koda, upoređuje izračunatu vrednost sa onom koju je dobio od servera i utvrđuje da li se poklapaju. Ukoliko se ne poklapaju, kod nije validan i potrebno je ponovo preuzeti i informacije o kodu i sam kod jer se ne može utvrditi da li je došlo do greške u prenosu koda ili informacija. Ukoliko se poklapaju, završava se deo korisničke aplikacije namenjen za preuzimanje nove verzije i ona nastavlja svoje izvršavanje.

3.6. Bootloader

Bootloader predstavlja aplikaciju koja je zadužena za ažuriranje i pokretanje korisničke aplikacije. Kako se on nalazi na početnoj adresi programske memorije, izvršava se odmah nakon dovođenja napona napajanja na mikrokontroler ili resetovanja mikrokontrolera.

3.6.1. Pokretanje Bootloader-a

Kao što je već rečeno, Bootloader se može pokrenuti resetovanjem ili dovođenjem napajanja na mikrokontroler. Resetovanje se vrši koristeći taster koji je povezan na pin namenjen za reset mikrokontrolera. Potrebno ga je povezati na takav način da u slobodnom režimu ne dovodi do reseta. Pritiskom ovog tastera pokreće se Bootloader.

Potrebno je koristiti i drugi taster koji je povezan na jedan od GPIO (eng. *General Purpose Input Output*) pinova. Ovaj pin mora biti konfigurisan kao ulazni digitalni pin. Bootloader koristi ovaj taster za proveru da li pri njegovom pokretanju treba da ažurira aplikaciju ili samo da je pokrene.

3.6.2. Zamena korisničke aplikacije

Za upisivanje novih vrednosti u programskoj fleš memoriji neophodno je koristiti drajver koji se aktivira kao posebna komponenta. Ovaj drajver poseduje funkcije upisa i čitanja, kao i provera veličine strane programske fleš memorije.

Nakon učitavanja veličine strane programske fleš memorije, ova vrednost se koristi za učitavanje te količine podataka iz eksterne fleš memorije. Ovi podaci se zatim upisuju u internu programsku memoriju počevši od adrese 0x6000. Svaki put se adrese sa koje se učitavaju podaci iz eksterne memorije i na koju se upisuju u programskoj memoriju inkrementuju za vrenost veličine strane programske memorije. Ovo se radi sve dok se ceo kod ne prabaci iz eksterne u programsku memoriju.

3.6.3. Pokretanje korisničke aplikacije

Na kraju potrebno je pokrenuti kod. Prvo je potrebno postaviti *stack pointer* na vrednost početne adrese aplikacionog dela programske memorije, što je u ovom slučaju 0x6000.

Takođe neophodno je postaviti početnu adresu tabele vektora prekida. Konačno potrebno je proslediti novu vrednost programskom brojaču (eng. *Program counter*) na vrednost za 4 veću od početne adrese aplikacionog dela, što je 0x6004.

Nakon ovoga izvršava se korisnička aplikacija koja da bi se ponovo ažurirala mora imati implementiranu funkcionalnost namenjenu za to. U suprotnom nije moguće ponovo ažurirati aplikaciju novom verzijom. Ove funkcionalnosti se najčešće realizuju korišćenjem asemblerskih naredbi.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je osnovni način za bežično ažuriranje aplikacije na mikrokontroleru. Objašnjene su komponente potrebne za realizaciju i testiranje. Opisan je izgled i funkcionalnost sistema, kao i softvera koji je potreban da se nalazi na serverskoj i klijentskoj strani. Objašnjeni su protokoli i komande koje služe za komunikaciju između delova sistema, kao i metod zaštite pri prenosu podataka bežičnim putem.

Kako je ovo osnovni način za realizaciju, postoje mnoga unapređenja koja je moguće ostvariti. Neke od mogućnosti su da klijent proverava sopstvenu verziju koda i onog koji se nalazi na serveru i na osnovu toga određuje da li je potrebno ažuriranje. Zatim postoji mogućnost unapređenja bezbednosti prenosa u vidu kriptovanja podataka koristeći TLS protokol (eng. *Transport Layer Security*). Konačno, moguće je smanjiti broj podataka koji se prenose od servera ka mikrokontroleru ako se način ažuriranja implementira kao diferencijalno ažuriranje.

5. LITERATURA

- [1] *Microchip* ATSAML21J18B Datasheet: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM_L21_Family_DataSheet_DS60001477C.pdf (pristupljeno u septembru 2020.)
- [2] *Quectel* NB68 Datasheet: https://www.quectel.com/UploadFile/Product/Quectel_BC68_NB-IoT_Specification_V1.8.pdf (pristupljeno u septembru 2020.)
- [3] *Microchip* SST25PF040C Datasheet: <https://eu.mouser.com/datasheet/2/268/20005397B-967551.pdf> (pristupljeno u septembru 2020.)

Kratka biografija:



Vladimir Nikić rođen je u Novom Sadu 1996. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Embedded sistemi i algoritmi odbranio je 2019.god.
kontakt: nikic.vladimir@gmail.com

FABRIKACIJA I ANALIZA ELEKTRIČNIH KARAKTERISTIKA E-TEKSTILNIH UREĐAJA NA BAZI CO-PANI MATERIJALA**FABRICATION AND ANALYSIS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF E-TEXTILE DEVICES BASED ON CO-PANI MATERIALS**

Sergej Vukelić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu su fabrikovani e-tekstilni uređaji, merene su i analizirane njihove električne karakteristike. Kao materijali za elektrode, korišćene su dve vrste provodnih pamučnih tkanina (CO-PANI1 i CO-PANI2) između kojih se nanosi dielektrični materijal kako bi se formirala MIM (metal-izolator-metal) struktura. Struktura se postavlja unutar plastičnog kućišta (P-tipa i D-tipa) za mehaničku zaštitu. Strujno-naponske karakteristike tri od četiri vrste realizovanih uređaja pokazuju uštinutu histerezisnu petlju, tipičnu za rezistivne prekidne uređaje- memristore. Rad prikazuje rezultate i detaljnu analizu odziva uređaja na promenljivu naponsku pobudu, promenu električnih karakteristika sa temperaturom kao i cikličnu-voltometrijsku analizu.

Ključne reči: e-tekstilni uređaji, memristor, CO-PANI materijal, električne karakteristike.

Abstract – In this paper, e-textile devices were fabricated and their electrical characteristics were measured and analysed. Two cotton fabrics were used as electrode materials (CO-PANI1 and CO-PANI2), while dielectric material was deposited in between in order to obtain MIM (metal-insulator-metal) structure. Structure is placed in plastic housing (P-type and D-type) for mechanical protection. Current-voltage characteristics three out of four realized type of devices show pinched hysteresis loop, typical for resistive switching devices-memristors. Paper presents results and detailed analysis of devices' response for variable actuation voltage waveform, modification of electrical characteristics with temperature as well as cyclic-voltammetry analysis.

Keywords: e-textile devices, memristor, CO-PANI material, electrical characteristics.

1. UVOD

Elektronski tekstilni (e-tekstilni) uređaji se odlikuju mogućnošću integracije elektronskih funkcionalnosti unutar tkanine uz pomoć mehaničke modifikacije konvencionalnih komponenti [1-2].

Komponente se mogu direktno implementirati u strukturu tkanine ili se povezati preko interfejsa sa fleksibilnim delom sistema [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Nataša Samardžić, docent.

Memristor (*engl. memory resistor*) predstavlja četvrtu osnovnu pasivnu komponentu teorije električnih kola, sa nelinearnom zavisnošću između fluksa i količine naelektrisanja [3]. Ovakvo svojstvo je najpre eksperimentalno prepoznato u HP laboratorijama u okviru crossbar arhitekture Pt/TiO₂/Pt, 2008. godine što je predstavljao začetak intenzivnih istraživanja u oblasti materijala i primene memristora [4].

Cilj ovog rada je realizacija jednostavnih e-tekstilnih uređaja, na bazi provodnih pamučnih tkanina (CO-PANI1 i CO-PANI2), ispitivanje uticaja zaštitnih slojeva na odziv kao i ispitivanje električnih svojstava uređaja detaljnom analizom strujno-naponskih, otpornost-naponskih karakteristika zajedno sa ciklično-voltometrijskom analizom.

Ostatak teksta organizovan je na sledeći način: U drugoj glavi su opisani korišćeni materijali i postupak fabrikacije e-tekstilnih uređaja kao i merne metode. U trećem poglavlju su prikazani značajniji rezultati merenja strujno-naponskih karakteristika, karakteristika zavisnosti otpornosti i kapacitivnosti u funkciji napona kao i promena jačine struje u vremenu. Upoređivane su i diskutovane karakteristike za četiri tipa realizovanih e-tekstilnih uređaja. U glavi četiri je dat zaključak rada, a spisak korišćene literature je prikazan u poglavlju 5.

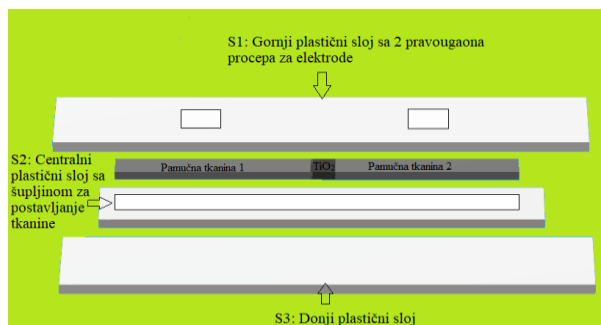
2. MATERIJALI I METODE

Tekstilne elektrode su formirane od dve vrste materijala: a) pamuk sa manjom količinom polianilina (CO-PANI1), b) pamuk sa većom količinom polianilina (CO-PANI2). Detaljan opis materijala za elektrode prikazan je u radu [5]. Za dielektrični/izolatorski sloj korišćen je 5% nanokristalni rastvor TiO₂ u etanolu. Depozicijom TiO₂ između tekstilnih elektroda formira se metal-izolator-metal struktura e- uređaja.

Realizovani uređaji su smešteni u dva tipa kućišta (P-tip i D-tip), koja će biti opisana u nastavku. Pored funkcije vezivanja, kućište pruža mehaničku zaštitu uređaja.

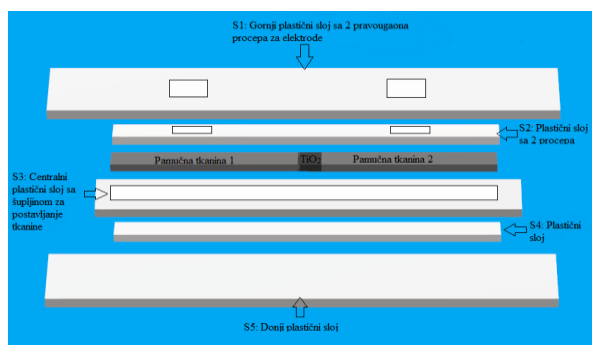
Prvobitno je realizovano kućište (tip P) sačinjeno od tri plastična sloja (gornji sloj sa dva pravougaona procepa za elektrode 3 mm x 5 mm, S1; središnji sloj sa procepom za tkaninu 1 cm x 4 cm, S2 i donji sloj, S3), debljine 125 μm, od PVC (polivinil-hlorid) materijala, slika 1. Laminacija slojeva sa MIM stukturom vrši se na temperaturi od 180°C, (Card Laminator). P-tip kućišta vremenom gubi svoju čvrstinu, nakon ponovljenih merenja dolazi do

odvajanja materijala MIM strukture što rezultuje velikom otpornošću finalnog uređaja.



Slika 1. Šematski prikaz pojedinačnih slojeva uređaja sa P-tipom kućišta

Drugo kućište (tip D) se sastoji od 5 plastičnih slojeva PVC materijala debljine 125 μm , slika 2. Za razliku od kućišta tipa P, ono sadrži dva dodatna plastična sloja (S2 i S4), sa gornje i donje strane pamučnih tkanina što doprinosi većoj robusnosti. Obeležavanje uređaja je izvršeno na sledeći način: uređaji u prvom kućištu su obeleženi velikim slovom P i zatim rednim brojem 1 ili 2 po analogiji sa oznakom materijala od kojih su sačinjene elektrode (CO-PANI1 $\rightarrow$ P1, CO-PANI2 $\rightarrow$ P2). Ista logika se koristi i za uređaje smeštene u drugom kućištu, oznaka D (CO-PANI1 $\rightarrow$ D1, CO-PANI2 $\rightarrow$ D2).



Slika 2. Šematski prikaz pojedinačnih slojeva uređaja sa D-tipom kućišta

Na slici 3 je prikazan realizovan e-tekstilni uređaj na bazi CO-PANI1 elektroda unutar drugog plastičnog kućišta, uređaj D1.



Slika 3. E-tekstilni uređaj na bazi CO-PANI1 elektrode unutar drugog plastičnog kućišta (D1)

Na slici 4 je prikazan realizovan e-tekstilni uređaj na bazi CO-PANI2 elektrode unutar drugog plastičnog kućišta, uređaj D2.

Strujno-naponske karakteristike (I - V) i karakteristike zavisnosti otpornosti u funkciji napona (R - V) su snimane sa mernim instrumentom Keithley 2410 High Voltage

Source Meter [6]. Merenja su vršena na sobnoj temperaturi, ali i na povišenim temperaturama 40°C, 60°C i 80 °C. Za merenja na povišenoj temperaturi je upotrebljen sistem za zagrevanje Fisherbrand Isotemp Hot Plate [7]. Za cikličnu voltometrijsku analizu i snimanje promene jačine struje u vremenu (I - t) korišćen je potencijostat PalmSens4 [8].



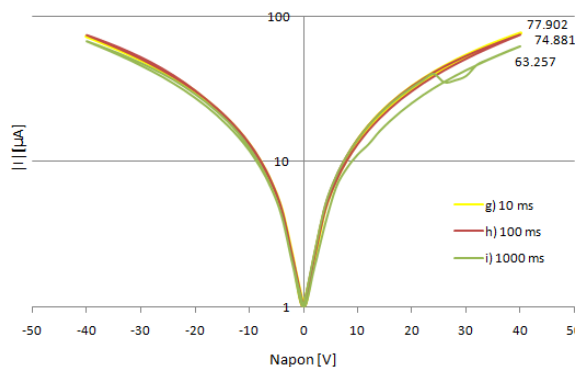
Slika 4. E-tekstilni memristor na bazi CO-PANI2 elektrode unutar drugog plastičnog kućišta

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Rezultati i analiza I - V karakteristika P1 i P2 uređaja

Dobijene strujno-naponske karakteristike (Keithley 2410) e-tekstilnih uređaja sa CO-PANI1 elektrodama u prvom kućištu, P1 uređaj, su nelinearne, ali bez histerezisa tj. uređaj se ponaša kao nelinearni otpornik. Otpornost P1 uređaja je $\sim 5,9 \text{ G}\Omega$ i pri maksimalnim vrednostima primenjenog napona (40 V).

Na slici 5 su prikazani rezultati merenja tri I - V karakteristike P2 uzorka sa promenljivim vremenskim odbircima: 10 ms, 1000 ms i 10 000 ms.



Slika 5. I - V karakteristika P2 uzorka sa promenljivim t_s , amplituda naponske pobude 40 V

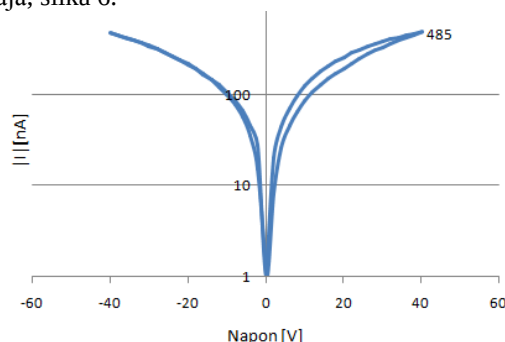
Amplituda trougaone naponske pobude je konstantna (40 V), ali se ukupna jačina struje sa ponovljenim merenjima smanjuje. Uštinut histerezis se javlja u sva tri slučaja, ali je najširi za vremenski odbirak od 1000 ms, tj. za najmanju frekvenciju pobudnog napona, što je tipično ponašanje memristora.

3.2. Rezultati i analiza I - V i R - V karakteristika D1 i D2 uređaja

Na slici 6 je prikazana I - V karakteristike D1 uređaja snimljena sa vremenskim odbirkom od 10 ms i amplitudom naponske pobude od 40 V. U poređenju sa rezultatom za uzorak P1, ukupna prosečna otpornost je značajno smanjena (~ 70 puta) i iznosi 80 M Ω , čime je

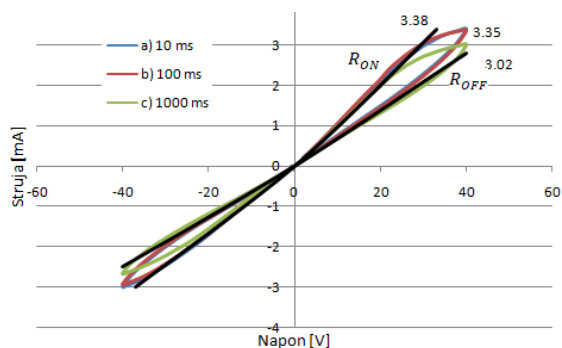
potvrđen uticaj kućišta tipa D na provodne karakteristike uređaja.

Nesimetričnost površine obuhvaćene histerezisnom petljom, u pozitivnom i negativnom ciklusu naponske pobude ukazuje na značajne električne gubitke ovog tipa uređaja, slika 6.



Slika 6. I-V karakteristika D1 uzorka za $t_s=10$ ms, amplituda naponske pobude 40 V

Značajno poboljšanje odziva identifikovano je za uzorak D2, slika 7. Ukupna jačina struje je $\sim$ mA, prosečna otpornost ~ 15 k Ω . Sa povećanjem vrednosti parametra t_s dobija se širi histerezis, a ponovljena merenja dovode do smanjenja jačine struje. U prvom slučaju (a) maksimalna struja iznosi $I_a=3,38$ mA, u drugom slučaju (b) $I_b=3,35$ mA i u trećem slučaju (c) $I_c=3,02$ mA. Prelazak iz ON u OFF stanje nastupa pri pozitivnoj naponskoj pobudi (~ 40 V), u prvoj poluperiodu akucionog napona, dok prelazak iz OFF u ON stanje nastupa pri negativnim vrednostima akucionog napona (~ -40 V).



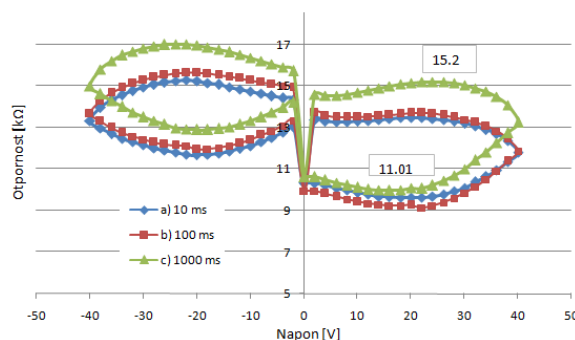
Slika 7. I-V karakteristika D2 uzorka za tri različite vremenske odbirke (10 ms, 100 ms, 10 000 ms), amplituda naponske pobude 40 V

Na slici 8 je prikazana zavisnost otpornosti od napona D2 uzorka za tri različite vrednosti vremenskih odbiraka (10 ms, 100 ms i 1000 ms) kao i odgovarajuće vrednosti R_{ON} i R_{OFF} otpornosti.

Za vremenski odbirak naponske pobude od 1000 ms, kada je histerezis najširi dobija se (u pozitivnoj poluperiodi): $R_{ON}=11,01$ k Ω i $R_{OFF}=15,2$ k Ω , odnos otpornosti $R_{ON}/R_{OFF}\approx 1,4$. Prosečna otpornost, u novom kućištu, e-tekstilnog memristora sa CO-PANI2 elektrodom (D2) iznosi 16 k Ω . Smanjenje ukupne otpornosti u odnosu na uređaje klase D1 se objašnjava boljim provodnim karakteristikama CO-PANI 2 elektroda [5].

Pored poboljšanja provodnih karakteristika, uočava se i poboljšana simetričnost površine obuhvaćene histerezisom

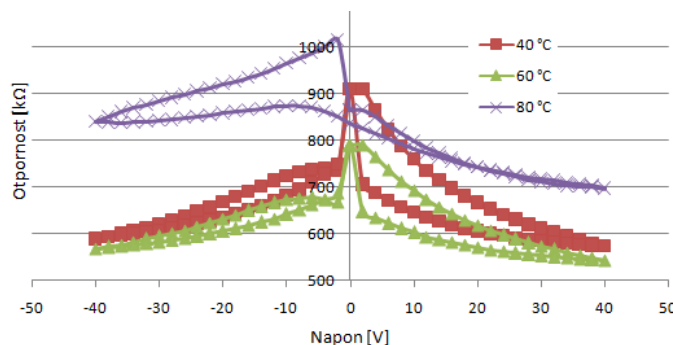
u prvom i trećem kvadrantu (slika 7) uređaja D2 u odnosu na prethodne strukture, što ide u prilog većoj efikasnosti, tj. manjim Džulovim gubicima dobijene strukture.



Slika 8. R-V karakteristika D2 uzorka za tri različite vremenske odbirke (10 ms, 100ms, 1000 ms), amplituda naponske pobude 40 V

3.2. Rezultati i analiza I-V karakteristika uređaja D2 na povišenim temperaturama

Nadalje, merenja na povišenim temperaturama (Fisherbrand Isotemp Hot Plate) su izvršena za uzorak D2, koji je imao najizraženiji memristivni efekat. Uređaj je zagrevan do 80 °C uz snimanje I-V karakteristika mernim instrumentom Keithley 2410. Rezultati promene otpornosti u funkciji napona pri različitim temperaturama do maksimalnih 80 °C su prikazani na slici 9.



Slika 9. R-V karakteristike D2 uzorka pri različitim temperaturama (40 °C, 60 °C, 80 °C), amplituda naponske pobude 40V,

Uočava se da se porastom temperature smanjuje vrednost otpornosti do granice od 60 °C, slika 9. U narednoj iteraciji zagrevanja do 80 °C dolazi do naglog skoka otpornosti. Prosečna otpornost na temperaturi od 80 °C (~ 900 k Ω) premašuje i vrednosti otpornosti na sobnoj temperaturi.

Vrednosti odnosa R_{OFF}/R_{ON} otpornosti za povišene temperature je dat u nastavku: $R_{OFF}/R_{ON}(40^\circ\text{C})=1,18$; $R_{OFF}/R_{ON}(60^\circ\text{C})=1,15$ i $R_{OFF}/R_{ON}(80^\circ\text{C})=1,03$. Evidentno je i sužavanje histerezisa sa porastom temperature okruženja, što se objašnjava postepenim isparavanjem tečnog rastvora nanočestica TiO_2 u etanolu, dielektrika koji je nanešen između tekstilnih elektroda.

3.3 Rezultati ciklično-voltometrijske analize uređaja D1 i D2

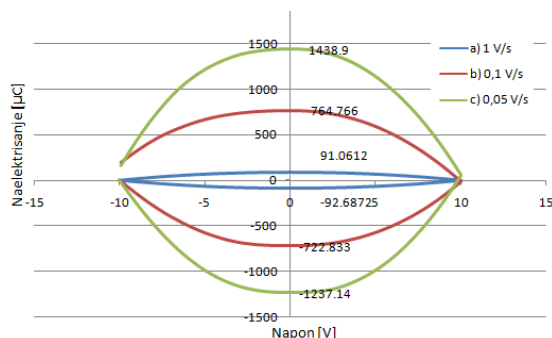
Uz pomoć PalmSens4 potenciostata su merene q-V i I-t karakteristike memristora smešteni u kućište tipa D (D1 i

D2 uzorci). U nastavku su prikazani odabrani rezultati e-tekstilnog uređaja D2 sa izraženijim memristivnim svojstvima. Parametri merne postavke prikazani su u tabeli 1.

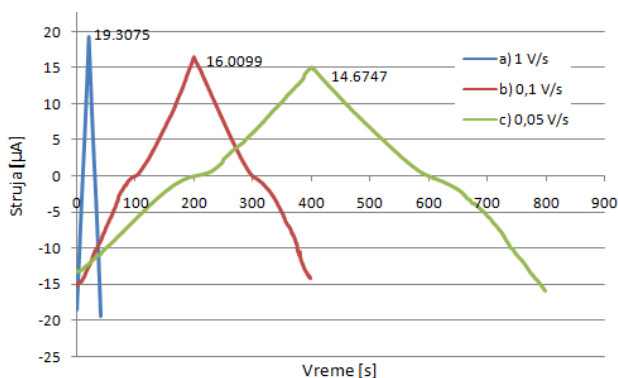
Tabela 1. Parametri merne postavke za ciklično-voltometrijsku analizu uređaja D2

Oznaka	Napon [V]	Naponski korak [V]	Brzina skeniranja [V/s]
a	10	0.1	1
b	10	0.1	0.1
c	10	0.1	0.05

Na slici 10 su prikazane tri različite q -V karakteristike (tabela 1: postavka a), b) i c)) D2 uzorka kako bi se ispitao uticaj promene brzine skeniranja, S_r , na karakteristike uređaja. Sa slike 10 se uočava da se dobijaju veće vrednosti ukupnog naelektrisanja što je manji parametar S_r . Minimalna vrednost ukupne količine naelektrisanja slučaja pod a) $q_a = -92,68725 \mu C$, slučaja pod b) $q_b = -722,833 \mu C$ i slučaja pod c) $q_c = -1237,14 \mu C$. Sa druge strane, maksimalne vrednosti naelektrisanja su: $q_a = 91,0612 \mu C$, postavka b) $q_b = 764,766 \mu C$ i postavka c) $q_c = 1438,9 \mu C$.



Slika 10. Ciklično-voltometrijska analiza D2 uzorka za različite vrednosti brzine skeniranja ($S_a = 1 \text{ V/s}$, $S_b = 0,1 \text{ V/s}$, $S_c = 0,05 \text{ V/s}$)



Slika 11. I-t karakteristike D2 uzorka za različite vrednosti brzine skeniranja ($S_a = 1 \text{ V/s}$, $S_b = 0,1 \text{ V/s}$, $S_c = 0,05 \text{ V/s}$)

Na slici 11 su prikazane I-t karakteristike (tabela 1: postavka a), b) i c)) snimljene na uređaju D2. Za naponski korak od 0.1 V maksimum struje se dostiže (a) na $\sim 20 \text{ s}$, u drugom slučaju (b) $\sim 200 \text{ s}$ i u trećem (c) $\sim 400 \text{ s}$. Maksimalna vrednost jačine struje za postavku (a) od $I_a = 19,3075 \mu A$, (b) ta vrednost iznosi $I_b = 16,0099 \mu A$ i postavku (c) $I_c = 14,6747 \mu A$ (slika 11). Ponovljena merenja utiču na smanjenje ukupne jačine struje, sličan

zaključak je izveden i iz strujno-naponskih karakteristika, ali se takođe potvrđuje i tipično ponašanje memristora u vidu proširenja histerezisne petlje sa smanjenom frekvencijom pobude (slika 10).

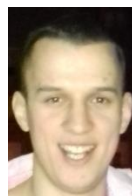
4. ZAKLJUČAK

U radu je opisan postupak realizacije e-tekstilnih uređaja sa CO-PANI elektrodama u metal-izolator-metal arhitekturi sa tečnim nanočestičnim TiO_2 dielektrikom. Uređaji su smešteni u dve različite strukture kućišta od kojih ona se dodatnim zaštitnim slojevima (D-tip) obezbeđuje bolju robusnost i čvrstoću finalnih uređaja, što značajno utiče na električne karakteristike. Strujno-naponski odziv i ciklična-voltometrijska analiza uređaja u D tipu kućišta pokazuje memristivno svojstvo. Uzorci čije su elektrode dopirane sa većom količinom polianilina (CO-PANI2), uzorak D2 poseduje znatno veću ukupnu provodnost i približno simetričan histerezis, tj. manje gubitke u odnosu na ostale klase uređaja. Memristivni efekat je prisutan i na povišenim temperaturama, do temperature od 80°C . Rezistivni prekidački efekat sa očljivim prelazima između visokootpornog R_{OFF} i niskootpornog R_{ON} stanja, pri promenu polariteta napona zabeležen je za tri klase realizovanih uređaja.

5. LITERATURA

- [1] L. Buechley, M. Eisenberg, "Fabric, PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for etextile craft", *Pers Ubiquit Comput*, Vol. 13, pp. 133–50, 2009.
- [2] M. Rothmaier, M. Luong, F. Clemens, "Textile pressure sensor made of flexible plastic optical fibres", *Sensors*, Vol. 8, pp. 4318–29, 2008.
- [3] L. Chua, "Resistance switching memories are memristors", *Appl Phys A*, Vol. 102, pp. 765–783, 2011.
- [4] D. Strukov, G. Snider, D. Stewart, R. Williams, "The missing memristor found", *Nature*, Vol. 423, pp. 80–83, 2008.
- [5] G. M. Stojanović, M. M. Radetić, Z. V. Šaponjić, M. B. Radoičić, M. R. Radovanović, Ž. V. Popović and S. N. Vukmirović, "A Textile-Based Microfluidic Platform for the Detection of Cytostatic Drug Concentration in Sweat Samples". *Appl. Sci*, Vol. 10, 4392, 2020.
- [6] <https://www.newark.com/keithley/2410/source-meter-dc-voltage-current/dp/19K4451#> (pristupljeno u junu 2020.)
- [7] <https://www.fishersci.com/shop/products/fisher-scientific-isotemp-hotplate-7/hp88857200> (pristupljeno u junu 2020.)
- [8] https://www.palmsens.com/product/palmsens4/?gclid=Cj0KCQjw0YD4BRD2ARIsAHwmKVmUMN3X0dSzoPP7bN50oGO6aqRylAi73edlr8PrUz42H6RayodnX6MaAuAHEALw_wcB (pristupljeno u julu 2020.)

Kratka biografija:



Sergej Vukelić rođen je u Kosovskoj Mitrovici 1996. godine. Fakultet tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu je upisao 2015. godine. Diplomski B.Sc. rad je odbranio 2015. godine.
kontakt: sergej.vukelic@gmail.com

REALIZACIJA UPITA ISKAZANIH PUTEM OBDA SISTEMA SA RELACIONIM IZVORIMA PODATAKA**IMPLEMENTATION OF QUERIES EXPRESSED IN OBDA SYSTEMS OVER RELATIONAL DATA SOURCES**

Aleksandar Jeremić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljene su osnove OBDA pristupa u upravljanju podacima. Dat je pregled izabranih OBDA tehnologija, i opisan je jedan metod realizacije upita iskazanih prema OBDA sistemima sa relacionim izvorima podataka.

Ključne reči: OBDA, ontologije, baze znanja, opisne logike, prevođenje SPARQL upita u SQL

Abstract – In this work, we present the foundations of OBDA data management method. Selected OBDA technologies are also presented, as well as one method for execution of queries expressed over OBDA systems with relational data sources.

Keywords: OBDA, ontologies, knowledge bases, description logics, SPARQL to SQL rewriting

1. UVOD

Relacione baze podataka se već godinama unazad koriste kao glavni mehanizam za skladištenje podataka u većini informacionih sistema. Pored mnogih kvalitetnih osobina, relacioni sistemi ograničeni su modelom podataka koji podatke skladišti u relacijama, tj. tabelama. Ponekad relacije nisu idealan mehanizam za opis entiteta koji postoje u realnom svetu, kao i odnosa među njima. Hijerarhije nad entitetima, na primer, komplikuju strukturu šeme baze, ili rezultuju velikim brojem nedostajućih vrednosti obeležja. Isto tako, poznata je i neefikasnost baza podataka za potrebe odgovaranja na kompleksne upite, kada spajanje velikog broja tabela ima negativan uticaj na performanse.

Jedan od predloga za rešavanje navedenih problema relacionog modela jeste metod pristupa podacima zasnovan na ontologijama (eng. *Ontology-Based Data Access*, skr. OBDA). Ontologije, pored definicija struktura podataka, sadrže i definicije aksioma nad tim podacima. Ovi aksiomi definišu semantiku podataka u ontologiji, na način koji nije moguće replicirati u klasičnim relacionim sistemima. Ovo ne znači da OBDA sistemi uklanjaju potrebu za relacionim bazama podataka. Naime, OBDA sistemi obezbeđuju definisanje strukture podataka preko ontologija, dok sami podaci mogu biti smešteni u različitim izvorima. U OBDA sistemima najčešći izvori podataka

za prikaz putem modela definisanih ontologijama jesu upravo relacione baze podataka.

U ovom radu biće analiziran problem prevođenja upita postavljenih nad ontologijama u odgovarajući oblik izvršiv nad relacionom bazom podataka koja se koristi kao izvor podataka za datu ontologiju. Definisaćemo korake u realizaciji upita, i demonstrirati sam proces na primeru. Cilj rada je da se na sistematičan način prikaže proces realizacije upita u OBDA sistemima, što će biti od koristi programerima u implementaciji daljih unapređenja u samom procesu prevođenja, ali i korisnicima OBDA sistema, u konstrukciji upita koji će bolje iskoristiti postojeće optimizacije u procesu prevođenja.

Pored uvoda i zaključka, ovaj rad sadrži još tri poglavlja. U poglavlju 2 objašnjene su osnove OBDA pristupa. Objašnjeni su pojmovi baza znanja, ontologija i opisnih logika. Poglavlje 3 daje pregled izabranih OBDA tehnologija koje se mogu koristiti za izgradnju OBDA sistema, dok je u poglavlju 4 predložen jedan metod realizacije upita postavljenih prema OBDA sistemima sa relacionim izvorima podataka.

2. OSNOVE OBDA

OBDA predstavlja skup tehnika, algoritama i sistema koji se koriste za predstavljanje podataka, ali i znanja, putem ontologija [1]. Ontologije posmatramo kao način da formalno predstavimo i opišemo entitete iz realnog sveta, i odnose među njima. Pomoću ontologija, svaki tip entiteta koji postoji u nekom sistemu možemo predstaviti putem odgovarajućeg imenovanog koncepta (eng. *concept*), a svaku pojavu tog tipa entiteta putem odgovarajućih objekata koji su instance datog koncepta (eng. *individuals*). Veze između entiteta predstavljaju se putem uloga (eng. *roles*), a na sličan način predstavljaju se i obeležja ovih entiteta. Takođe, ontologije mogu da sadrže i razne druge aksiome koji opisuju različite odnose između entiteta, kao i veza koje se javljaju među njima.

3.1. Baze znanja i ontologije

Sastavni deo OBDA sistema jesu baze znanja (eng. *knowledge bases*), koje sadrže znanje opisano putem neke ontologije. Bitno je ustanoviti razliku između baza podataka i baza znanja. Baze podataka predstavljaju organizovane kolekcije podataka, i njima se pristupa u cilju čitanja podataka koji se čuvaju u bazi. Baze znanja sadrže podatke koji predstavljaju činjenice o realnom svetu, ali takođe sadrže i skup aksioma kojima su formalizovana pravila koja važe u realnom svetu. Pored čitanja podataka, bazama znanja pristupa se i sa ciljem

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivan Luković, red.prof.

donošenja određenih zaključaka o podacima. Ovaj postupak otkrivanja skrivenih zakonitosti u podacima naziva se rezonovanje.

Nad bazom znanja uočavaju se 2 nivoa – razlikuju se znanje na nivou intenzije, i znanje na nivou ekstenzije [2]. Na nivou intenzije, znanje se u bazi čuva u obliku aksioma o konceptima, sadržanih u komponenti s nazivom TBox. Na nivou ekstenzije, znanje u bazi se čuva u obliku tvrdnji o pojedinačnim objektima, sadržanih u komponenti pod imenom ABox. Znanje sadržano u TBox-u se generalno posmatra kao nepromenljivo, dok je znanje saržano u ABox-u podložno čestim promenama.

Ontologije, iako se često poistovećuju sa bazama znanja, ipak su samo formalizam za predstavljanje tog znanja. Ontologije su obično opisane preko jezika ontologija, a za ovu namenu se najčešće koriste jezici bazirani na opisnim logikama (eng. *description logics*).

2.1. Opisne logike

Opisne logike omogućavaju opisivanje problemskog domena ontologije putem aksioma u TBox-u ontologije i tvrdnji o pripadnosti u ABox-u ontologije. Aksiomi u TBox-u mogu biti definicije koncepata, uloga, kao i različitih odnosa koji postoje između koncepata i uloga. Koncepti definišu skupove, odnosno klase objekata, dok se uloge koriste da predstavljaju binarne relacije između objekata, tj. instanci koncepata. Tvrdnje o pripadnosti u ABox-u govore o pripadnosti objekata koji predstavljaju entitete realnog sveta nekom konceptu.

3. OBDA TEHNOLOGIJE

Za potrebe realizacije OBDA sistema razvijen je velik broj alata i jezika, objedinjenih pod nazivom OBDA tehnologije. U nastavku su predstavljene izabrane OBDA tehnologije.

3.1. Protégé i Ontop

Protégé je softverski alat otvorenog koda nastao sa ciljem da podrži modelovanje velikih ontologija. *Protégé* takođe pruža i usluge rezonovanja nad ontologijama, postavljanja upita nad ontologijama, kao i izvoz modelovanih ontologija u raznim formatima. Arhitektura alata je zasnovana na komponentama, te su funkcionalnosti alata proširive raznim *plugin*-ovima. Ovo omogućava korišćenje alternativnih mehanizama za vizuelizaciju, sistema rezonovanja, podršku sistema za upravljanje verzijama, i druge funkcionalnosti.

Ontop je OBDA sistem otvorenog koda namenjen upravljanju virtuelnim grafovima, tj. bazama znanja. *Ontop* ima za cilj da korisniku pruži ontologiju kao konceptualni, virtuelni pogled nad relacionom bazom podataka. Kažemo da je ontologija virtuelna jer je njen ABox predstavljen podacima u bazi podataka, a ne preko tvrdnji pripadnosti kakve se obično nalaze u ontologijama. Nad ovim virtuelnim ontologijama moguće je postavljati upite preko SPARQL jezika, i *Ontop* će ih prevesti u odgovarajući SQL (eng. *Structured Query Language*) oblik koji će se potom izvršiti nad bazom podataka.

3.2. RDF i OWL

RDF (eng. *Resource Description Framework*) je jezik namenjen opisivanju resursa na vebu. Resursi predstavljeni RDF-om identifikuju se putem IRI-ja (eng.

Internationalized Resource Identifier) ili literala (stringovi sa pratećom specifikacijom tipa), a opisani su svojim obeležjima (eng. *properties*) i vrednostima tih obeležja. Povezani podaci u jednom RDF dokumentu formulišu graf (takozvani RDF graf), i nekada se taj graf predstavlja preko RDF trojki (eng. *triplets*). Svaka RDF trojka predstavlja dva čvora grafa povezana ivicom.

Na bazi RDF-a nastao je jezik OWL (eng. *Web Ontology Language*), namenjen opisivanju ontologija. Iako je originalno bio namenjen potrebama semantičkog veba, OWL se danas koristi u mnogim alatima za modelovanje ontologija, kao i u sistemima za rezonovanje (eng. *semantic reasoners*), u mnogim domenima primene.

3.3. R2RML

R2RML je deklarativni jezik za opis preslikavanja između relacionih baza podataka i RDF dokumenata. Preslikavanja se definišu na nivou logičkih tabela (eng. *logical tables*), što mogu biti tabele ili pogledi u bazi podataka, ili proizvoljni SQL upiti, takozvani R2RML pogledi (eng. *R2RML views*).

Svako preslikavanje je opisano preko skupa pravila preslikavanja (eng. *triples map*). Ova pravila preslikavaju svaku pojedinačnu torku logičke tabele na odgovarajući skup RDF trojki.

3.4. SPARQL

SPARQL je jezik za pisanje upita nad RDF grafovima. Upiti se sastoje od šablona trojki sa promenljivama i vrednosti podataka iz RDF grafa koje, kada su dodeljene ovim promenljivama u šablonu, daju ispravnu formulu spram podataka u RDF grafu, predstavljaju rezultate izvršenja SPARQL upita.

Konjunkciju šablona torki u telu upita nazivamo osnovnim šablonom grafa (eng. *basic graph pattern*). Pored ovih jednostavnih konjunkcija šablona torki, u upitu se mogu naći i izrazi za filtriranje, uniranje, spoj, opcioni šabloni, i drugo.

4. FORMULISANJE I IZVRŠAVANJE SPARQL UPITA

U ovom poglavlju će biti objašnjen jedan metod realizacije SPARQL upita postavljenih nad ontologijama sa relacionih izvorima podataka, po uzoru na [3]. Ovaj metod je implementiran i u *Ontop* sistemu. U cilju objašnjenja procesa realizacije upita, koristi se primer šeme relacije *Radnik* koja opisuje radnika u sistemu:

Naziv kolone	Tip podataka	Dozvoljena null vrednost	Opis
ID	NUMBER (38, 0)	ne	primarni ključ
IME	VARCHAR (20)	da	ime radnika
PREZIME	VARCHAR (20)	da	prezime radnika

U sistemu postoji i ontologija u čijem je TBox-u definisan koncept *Radnik*. Ovaj koncept je putem atributa *imaIme* i *imaPrezime* povezan sa vrednostima tipa `xsd:string`. ABox ove ontologije je prazan, jer se podaci o objektima nalaze u relacionoj bazi podataka.

Putem takozvane *Quest* sintakse R2RML jezika, definisano je sledeće preslikavanje *m* između šeme relacije *Radnik* i odgovarajućih koncepata i atributa u ontologiji:

```
select ID, IME, PREZIME from RADNIK
```

```

:Radnik-{ID} a :Radnik ;
:imaIme {IME} ;
:imaPrezime {PREZIME}.

```

U primeru, iskorišćena je vrednost primarnog ključa relacije *Radnik* za generisanje identifikatora objekata koncepta *Radnik*. SQL upit koji selektuje torke iz tabela predstavlja izvor (eng. *source*). Šablon trojki koji opisuje trojke koje će biti generisane preslikavanjem predstavlja odredište (eng. *target*).

Nad ontologijom, dat je sledeći SPARQL upit *q*, koji selektuje imena i prezimena svih radnika:

```

select ?ri ?rp
where {
  ?r rdf:type :Radnik ;
  :imaIme ?ri ;
  :imaPrezime ?rp .
}

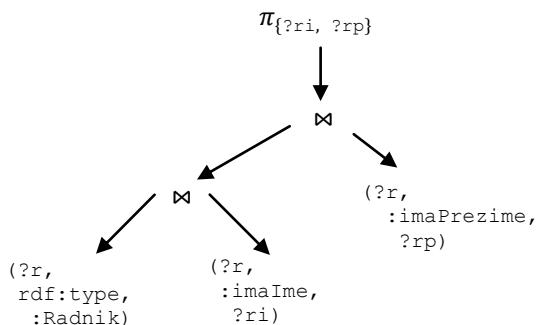
```

U *Ontop*-u, proces odgovaranja na zadati SPARQL upit sastoji se od sledećih pet faza:

1. SPARQL upit se prepisuje u odgovarajući prepis (eng. *rewriting*) tog upita,
2. ovako prepisani SPARQL upit se potom prevodi u odgovarajući SQL upit,
3. ovaj SQL upit se optimizuje na nivou *Ontop* alata,
4. SQL upit se šalje na izvršenje RDBMS-u i
5. rezultat izvršenja SQL upita se prevodi u odgovor originalnog SPARQL upita.

Prepisivanje upita ima za cilj da pojednostavi polazni upit, oslanjajući se na aksiome u TBox-u. Navedeni upit *q* dovoljno je jednostavan da njegovo prepisivanje ne bi rezultovalo efikasnijim upitom, te se u ovom tekstu nećemo detaljnije baviti ovom fazom realizacije upita.

Druga faza podrazumeva prevođenje SPARQL upita u odgovarajući SQL oblik. Prvo, dati SPARQL upit *q* se raspisuje u sledeće stablo izraza SPARQL algebre:



U ovom stablu, simbol $\bowtie$ označava spoj šablona trojki po promenljivama istog naziva, dok je sa π označena projekcija rezultujućeg skupa torki na obeležja definisana u zaglavlju upita.

Za potrebe prevođenja ovog upita u odgovarajući SQL oblik, *Ontop* generiše skup *T*-preslikavanja M_T na osnovu skupa preslikavanja koje je korisnik eksplicitno zadao. Ranije dato preslikavanje *m*, na primer, bilo bi iskorišćeno za kreiranje sledeća tri *T*-preslikavanja:

```

select ID from RADNIK
:Radnik-{ID} a :Radnik .
select ID, IME from RADNIK

```

```

:Radnik-{ID} :imaIme {IME} .

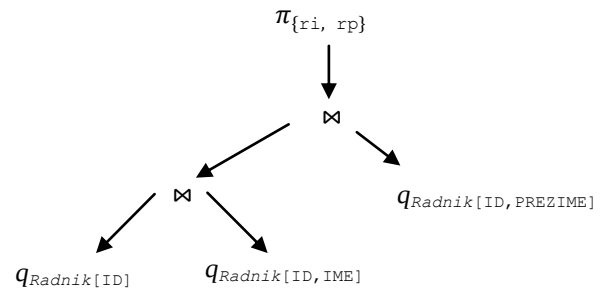
```

```
select ID, PREZIME from RADNIK
```

```
:Radnik-{ID} :imaPrezime {PREZIME} .
```

Više informacija o *T*-preslikavanjima čitalac može pronaći u master radu iz koga je proistekao ovaj rad, kao i u [4].

Ova tri *T*-preslikavanja odgovaraju osnovnim šablonima trojki koji se nalaze u listovima SPARQL stabla upita *q*. Šabloni trojki u listovima stabla upita koriste promenljive, dok se na istim mestima u šablonima trojki iz preslikavanja nalaze izrazi nad obeležjima šeme relacije. Stoga se dato SPARQL stablo prevodi u sledeće stablo relacione algebre:



U ovom stablu su sa $q_{Radnik[ID]}$, $q_{Radnik[ID, IME]}$, $q_{Radnik[ID, PREZIME]}$ označeni sledeći upiti:

```

select
  ":Radnik-" || cast(ID as varchar(4000)) as r
from (select ID from RADNIK)

```

```

select
  ":Radnik-" || cast(ID as varchar(4000)) as r,
  IME as ri
from (select ID, IME from RADNIK)
where IME is not null

```

```

select
  ":Radnik-" || cast(ID as varchar(4000)) as r,
  PREZIME as rp
from (select ID, PREZIME from RADNIK)
where PREZIME is not null

```

Ovi upiti generisani su na osnovu SQL upita u izvorima *T*-preslikavanja koja su korišćena za preslikavanje svakog šablona trojke u listovima SPARQL stabla upita *q*. Svaki od ovih upita samo primenjuje određene transformacije nad vrednostima koje vraćaju upiti u izvorima preslikavanja (ca ciljem generisanja identifikatora objekata opisanih preslikavanjem).

Simbolom $\bowtie$ u ovom stablu označen je prirodni spoj relacija koje su rezultat podupita, dok je π projekcija na obeležja rezultata celog upita. Upit koji predstavlja ovo stablo nazivamo razvoj (eng. *unfolding*) upita *q* po skupu *T*-preslikavanja M_T , u oznaci $unf(q, M_T)$.

U trećoj fazi realizacije upita *q*, upit $unf(q, M_T)$ se optimizuje. *Ontop* sprovodi strukturalne i semantičke optimizacije. Stukturalne optimizacije čine upit efikasnijim tako što ispravljaju strukturalne nedostatke forme upita. Semantičke optimizacije u optimizaciji upita oslanjaju se na ograničenja u relacionoj bazi podataka koja se koristi kao ABox.

Jedna strukturalna optimizacija koja se može sprovesti nad upitom $unf(q, M_T)$ jeste izravnjavanje (eng. *flattening*) podupita u listovima stabla. Ugnježdjeni upiti koji prate

from klauzulu u ovim podupitima ne menjaju vrednosti koje selektuju iz tabela (niti vrše bilo kakvo filtriranje), te se ovi ugnježdjeni upiti mogu zameniti nazivima tabela iz kojih se čitaju ti podaci.

Na primer, podupit $q_{Radnik[ID]}$ se modifikuje tako da postane:

```
select
  "Radnik-" || cast(ID as varchar(4000)) as r
from RADNIK
```

Na sličan način se modifikuju i preostala dva podupita.

Ova tri upita čitaju vrednosti obeležja iste tabele *Radnik*, te se sva tri upita mogu objediniti u jedan. U pitanju je semantička optimizacija koja se oslanja na ograničenje primarnog ključa definisano nad obeležjem *ID* šeme relacije *Radnik*. U uslovu selekcije ovog “objedinjenog” upita nalazi se konjunkcija uslova selekcije iz upita koji su objedinjeni. Na ovaj način se iz upita $unf(q, M_T)$ gube svi prirodni spojevi relacija. Nakon ove optimizacije, stablo relacione algebre upita $unf(q, M_T)$ izgleda ovako:

$$\begin{array}{c} \pi_{\{ri, rp\}} \\ \downarrow \\ q_{Radnik[ID, IME, PREZIME]} \end{array}$$

U ovom stablu, sa $q_{Radnik[ID, IME, PREZIME]}$ je označen sledeći upit:

```
select
  "Radnik-" || cast(ID as varchar(4000)) as r,
  IME as ri,
  PREZIME as rp
from RADNIK
where IME is not null and PREZIME is not null
```

Poslednja optimizacija koja se može sprovesti nad upitom $unf(q, M_T)$ jeste objedinjavanje projekcije u korenu upita sa projekcijom u podupitu. Na ovaj način se iz rezultata upita kompletno uklanja kolona *r*, koja je inače sadržala identifikatore objekata.

Finalni oblik upita $unf(q, M_T)$ koji se dobija kao rezultat treće faze realizacije upita *q* jeste:

```
select IME as ri, PREZIME as rp
from RADNIK
where IME is not null and PREZIME is not null
```

U četvrtom koraku SQL upit je već dostavljen na izvršavanje RDBMS-u. Peti korak podrazumeva preuzimanje rezultata od RDBMS-a i prevodenje rezultata u oblik koji odgovara promenljivama iz zaglavlja originalnog SPARQL upita. S obzirom da su svim kolonama rezultata SQL upita već dodeljeni aliasi spram naziva promenljivih iz SPARQL upita, ovaj korak prevodenja postaje trivijalan.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen OBDA pristup, kao i odabrane OBDA tehnologije koje se mogu koristiti u izgradnji OBDA sistema. Takođe je analiziran i proces realizacije upita postavljenih prema OBDA sistemima koji se oslanjaju na relacione izvore podataka.

U radu je dat i primer prevodenja jednog SPARQL upita u SQL oblik. Dati primer je relativno jednostavan, i odbran je sa ciljem demonstracije procesa prevodenja. U praktičnoj upotrebi OBDA sistema ipak treba očekivati da će prema sistemu biti postavljani i razni kompleksniji upiti. Na primer, izveštajna funkcija preduzeća oslanja se u velikoj meri na agregirane podatke o poslovanju, te je

od izuzetnog značaja da informacioni sistem preduzeća podrži i upite sa agregacionim funkcijama. Ovo je kategorija u kojoj pristup opisan u ovom radu počinje pokazivati svoje nedostatke. *Ontop* sistem još uvek nema podršku za upite sa agregacionim funkcijama. Isto tako, prevodenje SPARQL naredbi za upravljanje podacima u SQL i dalje nije podržano, već se ove operacije moraju sprovoditi direktno nad podacima u relacionoj bazi podataka.

Poseban problem, ipak, prepoznat je u samoj ideji relalizacije upita u OBDA sistemima, na način kako je to opisano u ovom radu. Ontologija opisana putem OWL jezika zapravo je RDF graf. Jezik SPARQL namenjen je isključivo postavljanju upita nad RDF grafovima, te ne postoji način iskorišćenja semantike OWL konstrukcija kojima je ontologija opisana, pri konstruisanju upita. To takođe znači da ne postoji mogućnost korišćenja velikog broja konstruktora koje opisne logike pružaju, u konstruisanju upita (kakvi su, na primer, konstruktori egzistencijalnog i univerzalnog kvantifikatora, prisutni u većini opisnih logika). Ovaj problem bi se mogao rešiti proširenjem SPARQL jezika tako da omogući iskorišćavanje informacija koje pruža OWL struktura RDF dokumenta nad kojim se postavlja upit, ili, idealno, razvojem kompletnog novog jezika za postavljanje upita nad OWL ontologijama.

Opis faza prevodenja SPARQL upita u SQL dat u ovom radu može biti od pomoći u implementaciji novih optimizacija u *Ontop*-ov sistem za prevodenje, kao i u unapređenju postojećih optimizacija. U slučaju kreiranja novog softvera za realizaciju upita u OBDA sistemima, ili novih jezika za postavljanje upita nad OWL ontologijama, ovaj rad može pružiti informacije bitne za razumevanje zahteva sistema, i problema koji su prisutni u postojećim rešenjima.

6. LITERATURA

- [1] Oscar Corcho, Freddy Priyatna & David Chaves-Fraga, Towards a new generation of ontology based data access, *Semantic Web Preprint (2019)*, pp. 1–8.
- [2] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah McGuinness, Peter Patel-Schneider & Daniele Nardi, *The description logic handbook: Theory, implementation and applications*, Cambridge university press, 2003.
- [3] Dag Hovland, Davide Lanti, Martin Rezk & Guohui Xiao, OBDA constraints for effective query answering, *International Symposium on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*, Springer, 2016, pp. 269–286.
- [4] Mariano Rodriguez-Muro, Roman Kontchakov & Michael Zakharyashev, Ontology-based data access: Ontop of databases, *International Semantic Web Conference*, Springer, 2013, pp. 558–573.

Kratka biografija:



Aleksandar Jeremić rođen je u Rumi 1995. god. Bečelov rad iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarske nauke i informatika odbranio je 2018. godine. Master rad iz iste oblasti odbranio je 2020. god.

OBJEKTIVNA PROCENA SUBJEKTIVNOG KVALITETA RADIOGRAFSKIH SNIMAKA**OBJECTIVE ASSESSMENT OF SUBJECTIVE RADIOGRAPHIC IMAGE QUALITY**

Aleksandra Zec, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – OBRADA SIGNALA

Kratak sadržaj – Objektivna evaluacija faktora koji utiču na kvalitet radiografskih snimaka pruža mogućnost optimizacije algoritama obrade u pravcu dostizanja kvaliteta slike koji zahtevaju radiolozi. U ovom radu predložene su mere količine šuma, kontrasta i oštine, dizajnirane tako da se njihova procena što više poklapa sa subjektivnim ocenama koje su dali radiolozi.

Ključne reči: objektivna procena šuma, objektivna procena kontrasta, objektivna procena oštine, obrada medicinske slike

Abstract – Objective evaluation of radiographic image quality factors provides an opportunity for optimisation of image processing algorithms in order to meet the quality criteria of radiologists. Objective measures of noise, contrast and sharpness are proposed in this paper. The aim of the metrics is correspond to the scores given by radiologists as closely as possible.

Keywords: objective assessment of noise, objective assessment of sharpness, objective assessment of contrast, medical imaging

1. UVOD

Za pouzdanu dijagnostiku u radiologiji od presudnog značaja je visok kvalitet radiografskih snimaka. Da bi bila osigurana vrhunska zdravstvena nega, snimci moraju biti pouzdani i verna reprezentacija regije tela koja se snima, a njihov kvalitet mora da bude na nivou koji omogućava radiolozima da ih adekvatno analiziraju i sa dovoljnom sigurnošću izvode neophodne zaključke.

Glavni faktori koji određuju kvalitet slike su kontrast, oština i količina šuma. Objektivna kvantifikacija ovih karakteristika i procena njihovog uticaja na kvalitet snimka omogućila bi dodatno unapređenje algoritama za obradu slike [1] i automatsku optimizaciju kvaliteta radiografskih snimaka [2]. Takva procena mogla bi da se dobije objektivnim merama napravljenim tako da oponašaju subjektivni utisak o određenoj karakteristici snimka koji imaju radiolozi.

U ovom radu su definisane i analizirane objektivne mere šuma, oštine i kontrasta. Njihov rezultat je evaluiran na osnovu poklapanja sa subjektivnim ocenama dijagnostičkih radiologa koji su analizirali skup snimaka i dali svoj utisak o tri komponente kvaliteta.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Tatjana Lončar-Turukalo, vanr. prof.

U narednom poglavlju opisani su faktori koji utiču na subjektivnu percepciju kvaliteta. U trećem poglavlju predstavljene su objektivne mere faktora koji utiču na kvalitet. U četvrtom poglavlju opisani su korišćeni podaci. Nakon toga, u petom poglavlju, predstavljeni su rezultati, a zatim sledi zaključak.

2. FAKTORI KOJI UTIČU NA KVALITET SLIKE

Kvalitetna vizuelizacija snimane anatomske strukture zavisi od prirodnih karakteristika izabranog modaliteta i određenih parametara snimanja koje je moguće kontrolisati. Optimalna procedura snimanja podrazumeva da je pacijent izložen najmanjoj mogućoj dozi radijacije, tokom najkraćeg vremena, a da je pri tome kvalitet snimka dovoljno očuvan.

U procesu radiografskog snimanja snop fotona koji se formira u rendgenskoj cevi prolazi kroz pacijenta i pada na digitalni detektor. Rendgenski zrak koji prolazi kroz telo različito slabi pri prolasku kroz različita tkiva. Kontrast, jedna od osnovnih karakteristika slike, nastaje upravo zbog ove varijacije u slabljenju.

Da bi anatomska struktura bila vidljiva na snimku mora postojati dovoljno kontrasta u odnosu na okolno tkivo, što se ogleda kao razlika u određenim fizičkim karakteristikama između te strukture i njene okoline. Glavni faktor jeste gustina i tip tkiva, a uticaj ima i debljina strukture koja se posmatra [3].

Poželjno je da su varijacije u intenzitetu slike prisutne samo na mestima gde postoje promene u gustini regije koja se snima. U potpunom odsustvu šuma, intenzitet snimka bio bi uniforman u okviru jedne strukture i menjao bi se na mestima prelaza iz jedne regije u drugu. Međutim, svi realni snimci sadrže određenu količinu vidljivog šuma, koji uzrokuje varijacije u intenzitetu čak i na mestima gde nema fizičkih promena u tkivu. Ove varijacije su obično nasumične i imaju efekat prošaranog, zrnastog sloja koji je dodat na sliku [3]. Veće prisustvo šuma spušta prag vidljivosti, što za posledicu ima maskiranje objekata koji su sitniji i slabijeg kontrasta. Efekat šuma je još nepovoljniji u slučaju kada je kontrast relativno nizak [3].

Veoma bitna karakteristika rendgenskog sistema je rezolucija, tj. red veličine bliskih anatomskih struktura koje je i dalje moguće razlikovati na snimku. Rezolucija prvenstveno zavisi od veličine piksela na detektoru, ali i od toga da svaki sistem za akviziciju snimaka unosi određeno zamućenje koje je posledica samog procesa snimanja, fizičkih ograničenja aprature za snimanje i mogućeg pomeranja pacijenta [4, 5]. Ovo neizbežna

pojava smanjuje vidljivost na visokim frekvencijama što kao efekat ima smanjenje oštine snimka. Slika koja je bogata detaljima i koja sadrži jasne ivice je oštra, a zamućenje dovodi do gubitka oštine, što najviše utiče na vidljivost ivica i granica struktura unutar slike [3].

Na Slici 1 (a) prikazan je snimak boljeg kvaliteta, a na (b) snimak lošijeg kvaliteta.



(a) (b)

Slika 1. (a) Snimak abdomena boljeg kvaliteta, (b) snimak lumbalne kičme lošijeg kvaliteta

U opštem slučaju, variranje osetljivosti ljudskog vizuelnog sistema dešava se iz tri razloga [6], a to su nivo osvetljaja (na nižim osvetljajima moguće detektovati manje promene u intenzitetu, a sa porastom osvetljaja raste i minimalna razlika u intenzitetu koja može da se detektuje [7]), prostorna frekvencija (osetljivost na kontrast opada na krajevima frekvencijskog opsega [6]) i sadržaj signala (ako u opsegu postoji komponenta signala, to će podići prag detekcije druge komponente u tom opsegu [6]). Ova ograničenja se inkorporiraju kroz pragove maskiranja koji određuju nivo distorzije kojem slika može da bude izložena pre nego što promena postane vidljiva posmatraču.

3. OBJEKTIVNE MERE KVALITETA

Definisane su objektivne mere kontrasta, količine šuma i oštine, u cilju da se dobije algoritam čija se procena što bolje poklapa sa rezultatima subjektivnog ispitivanja. Sve mere rade bez reference budući da su u pitanju snimci ljudskog tela, za koje ne postoji univerzalni model.

3.1. Šum

Za objektivnu procenu šuma korišćene su dve mere koje se zasnivaju na analizi strukturiranosti slike. Za detekciju značajnih struktura u snimku korišćena je lokalna koherencija (LC). LC je karakteristika slike kojom se opisuje relativna orijentacija vektora gradijenta oko datog piksela. Može imati vrednosti iz opsega $[-1,1]$. Veće vrednosti ukazuju na veću lokalnu snagu gradijenta, što znači da se pravci vektora gradijenata više poklapaju u datom lokalnom regionu, što je slučaj kada postoje izražene strukture.

Gradijent slike G predstavlja promenu intenziteta slike u nekom pravcu. G_x su promene u horizontalnom, a G_y u vertikalnom pravcu, a snaga gradijenta se računa po sledećoj formuli:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

Izražene anatomske strukture u slici su više koherentne od šuma, a u krajnjem slučaju će maskirati šum koji je prisutan, pa se posmatraju kao čist korisni signal. Petpostavka je da u ostatku slike dominira šum, a njegova količina negativno utiče na visinu ocene koju daje mera (kao i na subjektivni utisak o kvalitetu).

Mera LC_1 koristi parametar optimizacije T_{LC} kojim se definiše mera strukturiranosti regija koje ulaze u analizu kao koristan signal, a ostali delovi se obeležavaju kao nestrukturirani tj. šumoviti. Uveden je i parametar T_{vdet} , koji definiše prag intenziteta iznad koga se smatra da je gradijent vidljiv

Pozicije na slici na kojima dominira strukturirani korisni signal su one na kojima su vidljive strukture većeg gradijenta T_{vdet} , i nivo strukture veći od T_{LC} :

$$M_S(n, m) = (G(n, m) > T_{vdet}) \quad (2)$$

$$\& (LC(n, m) > T_{LC})$$

U ostalim oblastima dominira šum:

$$M_N(n, m) = \neg M_S(n, m) \quad (3)$$

Mera računa odnos ukupnog gradijenta strukturiranog signala ($M_S \cdot G$) i ukupnog gradijenta šuma ($M_N \cdot G$):

$$N_q^{LC_1} = \frac{\sum_{n,m} M_S(n, m) G(n, m)}{\sum_{n,m} M_N(n, m) G(n, m)} \quad (4)$$

Meka tkiva se po kriterijumu strukturiranosti nalaze negde između nasumično orijentisanog gradijenta šuma i visokog nivoa strukturiranosti košanog tkiva. Zbog toga je i šum više izražen na ovim regionima. Tokom stručne analize slike, fokus je na regionima koji su od značaja za dijagnozu. Usled izražene strukturiranosti, u predelu kostiju i ostalih izraženih ivica može doći do maskiranja šuma, dok u regionu pluća, digestivnog trakta i ostalih mekih tkiva strukture nisu dovoljno izražene i subjektivni utisak o šumu je nepovoljniji.

Iz tog razloga je prilikom analize snimaka mekih tkiva neophodno u koristan signal uvrstiti i regije koje odgovaraju mekim strukturama i fokusirati procenu gradijenta na tim delovima. Mera LC_2 u tu svrhu koristi dva praga za LC . Pomoću donjeg praga LT_{LC} se eliminišu strukture koje pripadaju šumu, a gornji prag UT_{LC} odbacuje najdominantnije strukture koje bi odvukle procenu od regiona od interesa za analizu:

$$M_S(n, m) = (G(n, m) > T_d) \& \quad (5)$$

$$(LC(n, m) > LT_{LC}) \& (LC(n, m) < UT_{LC})$$

Šum se procenjuje na mestima koja su ispod donjeg praga za LC :

$$M_N(n, m) = LC(n, m) < LT_{LC} \quad (6)$$

Konačni rezultat mere je, kao i u prethodnom slučaju, odnos gradijenata na regionima sa značajnim strukturama i regionima na kojima dominira šum:

$$N_q^{LC_2} = \frac{\sum_{n,m} M_S(n, m) G(n, m)}{\sum_{n,m} M_N(n, m) G(n, m)} \quad (7)$$

3.2. Kontrast

Objektivna mera za procenu kontrasta zasniva se na proceni vidljivosti struktura. Da bi se procena zadržala na nešto krupnijim promenama, umesto samo na najfinijim detaljima, smanjuje se rezolucija ulaznog snimka. Dalja analiza se radi na određenom nivou Gausove piramide koji se bira parametrom optimizacije L_R . Gradijent se računa po (1), i definiše se vidljivi gradijent:

$$G_{vis} = G > T_{G_{vis}} \quad (8)$$

Lokalni kontrast wq procenjuje se po prozorma veličine 5x5 piksela, na osnovu vidljivosti gradijenta i jačine lokalne koherencije:

$$wq(n) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \frac{G_{vis}(p)}{1 + e^{-30(G(p)-T_g)}} (LC > T_{LC}), \quad n = 1, \dots, N\# \quad (9)$$

T_{LC} je parametar optimizacije. N je broj prozora u slici, a P broj piksela u prozoru.

Svaki prozor dodeljuje se indikacija vidljivosti. Kriterijum koji treba da bude zadovoljen da bi prozor bio vidljiv je da prosečni vidljivi gradijent bude veći od praga vidljivosti T_{vis} , koji je jedan od parametara optimizacije. Zadržavaju se samo vrednosti wq koje odgovaraju strukturama koje se nalaze u vidljivim prozorima.

Konačna procena kontrasta C_q dobija se usrednjavanjem wq po svim prozorima, nakon čega se vrednost skalira faktorom globalne vidljivosti slike, odnosno procentom vidljivih prozora.

$$C_q = \frac{1}{N^2} \sum_{n=1}^N wq(n) wv(n) \quad (10)$$

3.3. Oštrina

Za objektivnu procenu optine korišćene su tri mere zasnovane na analizi gradijenta.

Prvi korak je filtriranje slike niskopropusnim Gausovim filtrom. Za ulaznu sliku, kao i za sliku niže rezolucije (im_{LR}) se traže gradijenti promena po horizontalnom i vertikalnom pravcu, kao i snaga gradijenta na nižoj rezoluciji G_{LR} .

Parametrom optimizacije određuje se procenat lokacija koje će biti korišćene za evaluaciju, te se na osnovu toga definiše donja granica intenziteta gradijenta koja određuje koji delovi snimka će uticati na procenu. Na izdvojenim značajnim lokacijama se na nivou piksela računa odnos gradijenata na višoj i nižoj rezoluciji. Na ovaj način se prati promena oštine sa opadanjem rezolucije. Velika oštrina slike će se očuvati i na manjoj rezoluciji, dok će se manje oštre strukture lakše eliminisati ublažavanjem.

Krajnji rezultat mere srazmeran je medijanu oštine u tačkama procene i ograničen je na opseg [0, 1], pri čemu veće vrednosti ojačavaju bolji kvalitet:

$$Sh_{q_1} = \sqrt{\frac{\max(\text{median}(Sh_1(n, m)) - 1, 0)}{1.6}} \quad (11)$$

Mera Sh_{q_2} je mala modifikacija opisanog algoritma. Uveden je dodatni parametar optimizacije T_i , koji definiše gornji procenat opsega intenziteta slike koji se analizira, kako bi se procena oštine ograničila samo na signal koji odgovara značajnim strukturama, a pozadina izbacila iz analize.

Treća modifikacija je mera Sh_{q_3} , u kojoj se uvodi i uticaj kontrasta. Ideja je da se procena oštine ograniči samo na regije na kojima je kontrast dovoljno jak.

4. PODACI

Za analizu objektivnih mera i evaluaciju njihovih rezultata korišćeno je 300 dijagnostičkih radiografskih snimaka. U toku redovne kliničke prakse za akviziciju snimaka korišćen je Trixell Pixium 4343 detektor koji sadrži 2880 x 2880 kvadratnih piksela širine 0.148 mm. Prikupljeno je 100 snimaka koji su potom obrađeni korišćenjem dva algoritma, MUSICA2[®] [8] i dva različita XPRP pristupa [9], sa ciljem da se što više eliminiše šum i povećaju kontrast i oštrina struktura.

Ovako dobijeni skup od 300 snimaka je podeljen u 10 kategorija sa po 30 snimaka, na osnovu anatomskih regija koje su snimane. Primer nekoliko snimaka iz skupa dat je na Slici 2.



Slika 2. Primer snimaka iz korišćenog skupa

Sprovedeno je ispitivanje u okviru koga su dva dijagnostička radiologa ocenila svaki snimak iz skupa na osnovu tri kriterijuma kvaliteta, oslanjajući se na svoj subjektivni utisak. Ocenama od 1 do 5 ocenjeno je prisustvo šuma, kontrast i oštrina.

5. REZULTATI

Uspešnost objektivnih mera ocenjuje se na osnovu korelacije njihovih rezultata za subjektivnim ocenama. Korišćen je Spirmanov koeficijent korelacije rangova (SROCC) [10]:

$$SROCC = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (13)$$

n je broj elemenata u vektoru rezultata procene, a d rastojanje između odgovarajućih elemenata vektora subjektivne i objektivne procene.

Pogodno je koristiti ovu korelaciju jer rezultat ne zavisi od konkretne vrednosti ocena već se poredi njihov rang. Vrednost koeficijenta korelacije može biti u opsegu [-1, 1], pri čemu veće vrednosti označavaju veću korelaciju.

U Tabeli 1 date su vrednosti koeficijenata korelacije za sve kategorije i različite mere.

Tabela 1. SROCC za različite mere za sve kategorije snimaka

	LC_1	LC_2	C_q	Sh_{q_1}
Abdomen AP	0.35	0.80	0.65	0.80
Pluća LAT	0.50	0.65	0.55	0.85
Pluća PA	0.65	0.80	0.15	0.90
Cervikalna kičma LAT	1	1	0.40	0.35
Šaka AP	1	1	0.80	0.30
Koleno AP	1	1	0.50	0.70
Lumbalna kičma LAT	1	1	0.25	0.70
Karlica AP	0.65	0.75	0.90	0.90
Rame AP	0.85	0.85	0.25	0.50
Torakalna kičma AP	1	1	0.85	0.90

Za većinu anatomske kategorije mera LC_1 ostvarila je dosta visoku korelaciju, a posebno visok nivo poklapanja sa subjektivnim utiskom postignut je na slikama kostiju. Ostvareno je idealno poklapanje na svim snimcima kičme, kao i na snimcima šake i kolena.

Mera LC_2 definisana je sa idejom da se poboljša procena šuma na snimcima mekih tkiva i za sve kategorije mekih tkiva postignuto je poboljšanje korelacije.

Poklapanje sa subjektivnim utiskom nije toliko izraženo kao za snimke kostiju, međutim ostvareno je značajno poboljšanje za snimke pluća, i naročito abdomena. Blago poboljšanje ostvareno je i na snimcima karlice, na kojima iako dominira koštano tkivo ipak postoji nezanemarljiva količina mekih struktura.

Rezultati mere za kontrast variraju nezavisno od vrste tkiva koje je prikazano na snimku. Visoka korelacija je ostvarena za snimke šake, karlice i torakalne kičme.

Visoka korelacija sa subjektivnim ocenama za meru Sh_{q_1} ostvarena je na snimcima pluća u PA projekciji, karlice i torakalne kičme. Nešto malo manje poklapanje dobijeno je na snimcima abdomena i pluća u LAT projekciji. Može se primetiti da mera generalno bolje radi na snimcima mekih tkiva jer se analiza radi na nižoj rezoluciji, gde se očuvavaju manje izražene strukture koje odgovaraju mekom tkivu. Sa druge strane, gube se detalji koji postoje na kostima, pa se mera loše pokazala na tim kategorijama snimaka.

Modifikacijama koje unose mere Sh_{q_2} i Sh_{q_3} nisu poboljšani rezultati mere Sh_{q_1} .

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljene su mere količine šuma, kontrasta i oštine, dizajnirane tako da oponašaju mehanizme subjektivne percepcije kvaliteta, sa ciljem da daju procene koje se poklapaju sa subjektivnim utiscima dijagnostičkog kvaliteta radiologa.

Veoma dobri rezultati ostvareni su po pitanju procene šuma. Mera LC_1 odlično radi na snimcima kostiju, pa je za sve kategorije snimaka kičme, kao i snimke ruke i kolena, ostvarena idealna korelacija. Mera LC_2 je dizajnirana da bi

se poboljšali rezultati procene na snimcima mekih tkiva, i ostvareno je značajno povećanje poklapanja za snimke abdomena i pluća.

Procena kontrasta nije bila preterano uspešna, ali je ostvarena solidna korelacija na snimcima šake, karlice i torakalne kičme.

Isprobana su tri pristupa za izdvajanje struktura značajnih za procenu oštine i najbolje se pokazalo korišćenje kriterijuma za izraženost struktura. Rezultati su ujednačeno visoki za snimke mekih tkiva, a visoka korelacija ostvarena je i za snimke karlice i torakalne kičme.

U budućem radu trebalo bi poboljšati meru za oštrinu, naročito za ostale kategorije snimaka kostiju, a takođe bi se mogli ispitati alternativni pristupi za procenu kontrasta. Krajnji cilj je kombinacija procena svih faktora kvaliteta u jednu opštu meru dijagnostičkog kvaliteta radiografskog snimka.

7. LITERATURA

- [1] V. Ostojić, Đ. Starčević, V. Petrović, "Recursive anisotropic diffusion denoising," *Electronics Letters*, vol. 52, no. 17, pp. 1449–1451, 2016.
- [2] P. Irrera, I. Bloch, M. Delplanque, "A flexible based approach for combined denoising and contrast enhancement of digital X-ray images," *Medical Image Analysis*, Elsevier, vol. 28, pp. 33–45, 2016.
- [3] P. Sprawls, "Physical principles of medical imaging", 2nd ed., Gaithersburg, Aspen Publishers, 1993.
- [4] W. Birkfellner, "Applied Medical Image Processing", 2nd ed., Boca Raton, FL, Taylor & Francis, 2014.
- [5] W. Huda, R. B. Abrahams, "X-Ray-Based Medical Imaging and Resolution", *American Journal of Roentgenology*, vol. 204, no. 4, pp. 393–397, 2015.
- [6] T. N. Pappas, R. J. Safranek, "Perceptual criteria for image quality evaluation", *Handbook of Image and Video Processing*, pp. 669–684, Academic Press, 2000.
- [7] M. K. Mandal, "The Human Visual System and Perception", *Multimedia Signals and Systems*, The Springer International Series in Engineering and Computer Science, vol. 716, pp. 33–56, Boston, MA, 2003.
- [8] R. Schaetzing, "Agfa's musica2 taking image processing to the next level", *AGFA Health Care*, Tech. Rep., 2007.
- [9] V. Ostojić, "Integrirana multiveličinska obrada radiografskih snimaka," *Doktorska disertacija*, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, 2018.
- [10] Y. Dodge, "The Concise Encyclopedia of Statistics", New York, Springer, 2008.

Kratka biografija:

Aleksandra Zec rođena je Novom Sadu 1996. god. Osnovne studije Biomedicinskog inženjerstva na Fakultetu tehničkih nauka završila je 2019. god. Master studije na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetika, elektornika i telekomunikacije, usmerenje Obrada signala završila je 2020. godine. Kontakt: aleksandra.zec@uns.ac.rs

DIGITALNA FORENZIKA iOS UREĐAJA**DIGITAL FORENSICS OF iOS DEVICES**

Jelena Maravić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIČKO I RAČUNARSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu obrađena je digitalna forenzika sa akcentom na digitalnu forenziku iOS uređaja. Kako digitalna forenzika podrazumeva primenu naučnih metoda na obezbeđivanje digitalnih dokaza, u radu su obrađene sve faze koje obuhvataju jednu digitalnu forenzičku istragu i detaljno su opisane tehnike ekstrakcije podataka iz iOS uređaja i alati koji implementiraju te tehnike.

Ključne reči: digitalna forenzika, iOS, tehnike, procesi, alati

Abstract – This paper addresses the theme of digital forensics with an emphasis on digital forensics of iOS devices. As digital forensics implies the application of the scientific method to provide digital evidence, the paper deals with all phases that include a single digital forensic investigation and describes in detail the techniques of data extraction from iOS devices and tools that implement these techniques.

Keywords: digital forensics, iOS, techniques, processes, tools

1. UVOD

U istoriji mobilnih uređaja ostaće zapamćeno da na samom početku nisu bili prihvaćeni od strane korisnika i da je broj kupaca bio veoma mali. Kako se, iz godine u godinu, radilo na njihovom unapređenju i razvoju tako je rastao i broj korisnika.

Telefoni su postali nezaostavni deo ljudske svakodnevnice. Uređaj kao takav ima sposobnost memorisanja aktivnosti sa ekstremnim detaljima što ga pretvara u digitalnu bazu podataka ponašanja njegovih korisnika.

Sveprisutnost mobilnih uređaja ubrzala je razvoj i usavršavanje i zlonamernih radnji na čiji put se trudi stati digitalna forenzika. Digitalna forenzika se bavi pribavljanjem što većeg broja podataka koje je teško ili nemoguće obezbediti na neki drugi način.

Prvi deo ovog rada bavi se digitalnom forenzikom, njenom istorijom i procesima. Forenzika mobilnih uređaja, kao jedna od bitnih grana digitalne forenzike, obrađena je u narednom odeljku.

Nakon toga, opisan je iOS operativni sistem sa pogledom na njegovu arhitekturu, fajl sistem, sigurnost i tehnike i metode akvizicije podataka. Zatim, sledi primer korišće-

nja određenog forenzičkog alata pomoću koga se vrši pronalazak lozinke kako bi se dekriptovali enkriptovani podaci rezervne kopije uređaja. Na samom kraju, dat je pogled na temu budućeg razvoja digitalne forenzike mobilnih uređaja.

2. DIGITALNA FORENZIKA

Postoji više definicija digitalne forenzike ali ona koja je najčešće pominjana je definicija Radne grupe za istraživanje digitalne forenzike iz 2001. godine i ona glasi: „Digitalna forenzika podrazumeva upotrebu naučno-izvedenih i potvrđenih metoda radi očuvanja, prikupljanja, validacije, identifikovanja, analize, tumačenja, dokumentovanja i predstavljanja digitalnih dokaza izvedenih iz digitalnih izvora za potrebe omogućavanja ili poboljšanja rekonstrukcije krivičnog događaja [1].“

2.1. Istorija digitalne forenzike

Razvoj personalnih računara 1970-tih godina prošlog veka je doveo do povećanja broja korisnika kako su postali dostupniji sve širem krugu ljudi. Sa razvojem računara, razvijao se i povećavao broj njegovih zloupotreba u kriminalne svrhe.

Prvi zabeleženi slučajevi zloupotreba vezani su za finansijske prevare i povrede prava intelektualne svojine. Kao potreba da se prikupe dokazi za gonjenje i suđenje, u ovakvim slučajevima zloupotrebe informacionih tehnologija, nastala je digitalna forenzika.

Kroz godine, nastajale su razne organizacije i asocijacije čiji je glavni zadatak bio razvoj, pronalaženje najboljih praksa i definisanje standarda računarske forenzike. Rezultat ovoga bilo je stvaranje Međunarodne organizacije za računarske dokaze (Internacional Organization on Computer Evidence) čiji je zadatak bio da izradi međunarodne principe i vodiče za postupanje sa digitalnim dokazima [1].

„Zlatno doba digitalne forenzike“ vezano je za period od 1999. do 2007. godine kada se ova disciplina posmatrala kao svemoguća za oporavak podataka i rekonstrukciju događaja u prošlosti u digitalnom okruženju [1].

Od tada do danas se dosta toga promenilo. Forenzičari se susreću sa sve boljim i sofisticiranijim uređajima za koje moraju praviti još bolje alate kako bi nesmetano izvršili istragu i sačuvali integritet dokaza.

2.2. Proces i u digitalnoj forenzici

Digitalni dokazi se mogu pronaći u računarima, mobilnim uređajima, internet infrastrukturama, industrijskim sistemima i u drugim digitalnim uređajima. Primena forenzičkih procesa i njenih principa će osigurati da istraga bude forenzički ispravna. Dva osnovna principa, koja se moraju ispoštovati, jesu:

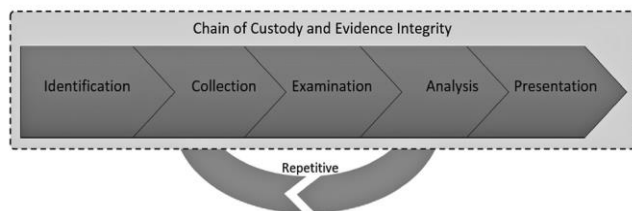
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Stevan Gostojić, vanr. prof.

- **Integritet dokaza** - odnosi se na čuvanje dokaza u njihovoj originalnoj formi – ne sme biti izmena,
- **Lanac nadzora** (chain of custody) – odnosi se na to da mora postojati mogućnost dokumentovanja svih odrađenih akcija nad dokazom kako bi se dokazala njegova autentičnost i integritet.

Istražni proces u digitalnoj forenzici se sastoji od pet faza (slika 1) koje su zasnovane na principima digitalne forenzike, zakonima sprovođenja i najboljim praksama a to su:

1. **Identifikacija** – dokazi mogu biti identifikovani na osnovu žalbi, upozorenja ili na osnovu nekih drugih naznaka. Ova faza se može iskoristiti kako bi se identifikovali dokazi ili objekti kojima se treba posvetiti tokom istrage. Identifikacija vodi do formiranja hipoteze o digitalnim uređajima ili sistemima koji možda sadrže potencijalne digitalne dokaze.
2. **Prikupljanje** – odnosi se na nabavku i kopiranje podataka. Ovo je vezano za situaciju kada istražitelj dobije pristup digitalnom uređaju koji sadrži sirove podatke koji su identifikovani kao relevantni za konkretni slučaj.
3. **Pregled** – svi prikupljeni podaci moraju biti pregledani i pripremljeni za kasniju analizu. U ovoj fazi se često može zahtevati i obnavljanje, parsiranje i pretprocesiranje sirovih podataka kako bi postali razumljivi za forenzičke istražitelje u narednoj fazi.
4. **Analiza** – služi da forenzički istražitelji utvrde koji digitalni objekti će se koristiti kao digitalni dokazi kako bi potvrdili ili opovrgnuli hipotezu kriminalnog slučaja, incidenta ili događaja.
5. **Prezentacija** – uključuje finalnu dokumentaciju i prezentaciju rezultata istrage koja će se predstaviti sudu ili nekoj drugoj instituciji/organizaciji. Prezentacija dokaza podrazumeva objektivne dokaze koji su dovoljno jasni.



Slika 1 – Faze digitalnog forenzičkog procesa [2]

3. FORENZIKA MOBILNIH UREĐAJA

3.1. Proces forenzike mobilnih uređaja

Proces forenzike mobilnih telefona se sastoji od sledećih faza: očuvanja, prikupljanja, ispitivanja, analize i izveštavanja.

U fazi očuvanja, prvi koraci vezani su za obezbeđenje mobilnog telefona, kako ne bi došlo do menjanja sadržaja na uređaju. Ukoliko je telefon uključen, važno je izvršiti mrežnu izolaciju. Nakon izolacije telefona, može se preći na fazu prikupljanja podataka. Forenzička akvizicija i izvlačenje podataka sa mobilnih telefona je jedan od najzahtevnijih postupaka istrage zbog brze promene u hardverskoj i softverskoj strukturi i velikog broja prisutnih nestandardnih uređaja na tržištu. Izveštavanje se oslanja na detaljan pregled svih preduzetih koraka i donetih zaključaka tokom istrage. Prezentuju se rezultati testiranja i ispitivanja i daju objašnjenja do kakvih se zaključaka došlo na osnovu prikupljenih dokaza.

Od svih faza u procesu digitalne forenzike mobilnih telefona, dve se smatraju kao najznačajnije – obezbeđuju dokaze i značajne smernice za nastavak istrage, a to su očuvanje i prikupljanje podataka.

3.2. Tehnike za forenziku mobilnih uređaja

Tehnike koje se mogu koristiti u fazi prikupljanja podataka na mobilnim uređajima su:

1. Ručna ekstrakcija podataka
2. Logička ekstrakcija podataka
3. Fizička ekstrakcija podataka
4. Cloud ekstrakcija podataka

Ručna ekstrakcija je najjednostavnija metoda koja podrazumeva snimanje, koje je obično digitalnom kamerom, svih informacije koje je moguće videti na ekranu mobilnog telefona. Metoda je manje efikasna jer ne nudi podatke koji su izbrisani sa uređaja kao ni podatke kojima se ne može pristupiti kroz sistem menija. Nedostatak je i što se ovom tehnikom ne može očuvati integritet uređaja.

Logička ekstrakcija podrazumeva uspostavljanje veze između mobilnog telefona i forenzičke radne stanice, najčešće pomoću USB kabla, ali i preko Bluetooth-a. Da bi se logička ekstrakcija mogla izvršiti, potrebno je otključati telefon. Određeni alati omogućavaju da se, bez otključavanja telefona, dobije određena mala količina podataka. Mana ove tehnike je to što povlači manji broj podataka od fizičke ekstrakcije i što nema mogućnost povraćaja izbrisanih podataka. Većina forenzičkih alata podržava logičku ekstrakciju, a sam proces je veoma jednostavan i zahteva kratkotrajnu obuku.

Po količini preuzetih podataka, između logičke i fizičke ekstrakcije nalazi se **datotečna ekstrakcija**. Ona pronalazi sve datoteke koje su pohranjene u delu memorije uređaja koji se smatra zauzetim. Pomoću nje, mogu se videti i neki podaci koje je korisnik izbrisao.

Fizičkom ekstrakcijom se dobija najviše podataka jer se vrši kopiranje svakog bita koji se nalazi na fizičkom uređaju. Ova tehnika, za razliku od logičke ekstrakcije, zaobilazi operativni sistem telefona, prikupljajući podatke direktno iz unutrašnje fleš memorije telefona. Neraspodeljeni prostor može sadržati pristup izbrisanim stavkama kao što su SMS, dnevnik poziva, imenik, slike i video zapisi.

Ekstrakcija cloud-a je najnovija metoda koja je veoma izazovna ali u velikoj meri pomaže u količini sakupljenih podataka i formiranju detaljnije slike. Problem kod ove tehnike je činjenica da je cloud distribuirano okruženje te da računari od interesa nisu na istoj geografskoj lokaciji. Olakšavajuća okolnost je što ne zahteva pristup samom uređaju i nije bitno da li je uređaj zaključen ili ne.

3.3. Metode za forenziku mobilnih uređaja

Pored nabrojanih tehnika, postoje razne metode koje tehnike koriste kako bi ekstrakcija bila izvršena a to su:

- Ručna ekstrakcija
- Metode logičke ekstrakcije:
 - SIM ekstrakcija - Kako bi se podaci iz SIM kartice preuzeli, potrebno je posedovati softver i čitač kartica. Velika je verovatnoća da će se dobiti podaci morati srediti za pregled.
 - Rezervna kopija - određeni uređaji, posebno telefoni, mogu imati rezervne kopije na računaru ili

nekom drugom mestu (cloud). Ovi podaci mogu biti enkriptovani. Za pregled ovih podataka, pored raznih forenzičkih alata, moguće je koristiti iTunes.

- Metode fizičke ekstrakcije:
 - Hex dumping/JTAG - kada ne postoji niti jedan drugačiji način za forenzičko ispitivanje mobilnog uređaja, prelazi se na JTAG interfejs. JTAG kontakti na uređajima su prvenstveno namenjeni testiranju rada hardvera na uređajima, mada se mogu koristiti i da bi se pristupilo fleš memoriji uređaja. Iščitavanjem kompletnog sadržaja memorije preko JTAG interfejsa dobija se kompletan forenzički dokazni materijal, koji u daljoj obradi može biti analiziran ili sačuvan za neku dalju obradu.
 - Chip-off je metoda forenzičke ekstrakcije podataka koja uključuje fizičko uklanjanje flash memorije uređaja na kojem se vrši analiza.
 - Micro read je metoda ekstrakcije podataka koja uključuje pregled memorije uređaja pod elektronskim mikroskopom. Ova metoda je veoma spora, zahteva sofisticiranu tehničku opremu (elektronski mikroskop) i potreban je tim stručnjaka kako bi se sprovela.

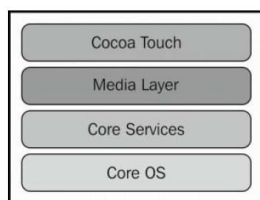
4. iPhone operating system – iOS

iOS je mobilni operativni sistem razvijen i distribuiran od strane Apple Inc. Univerzalan je operativni sistem za sve Apple uređaje kao što su Apple TV, iPad, iPod Touch i iPhone. Izveden je iz OS X, koji je baziran na sistemu Darwin BSD-u i stoga pripada grupi juniksolikih operativnih sistema. Upravlja hardverom uređaja i pruža tehnologije potrebne za implementaciju nativnih aplikacija.

4.1. iOS arhitektura

iOS se ponaša kao posrednik između osnovnih hardverskih komponenti i aplikacija koje se pojavljuju na ekranu. Aplikacije ne komuniciraju direktno sa osnovnim hardverskim komponentama, već se njihova komunikacija odvija preko dobro dizajniranog sistemskog interfejsa koji štiti aplikacije od hardverskih promena.

iOS arhitektura (slika 2) se sastoji od četiri sloja: kakao dodir sloj (cocoa touch layer), medija sloj, sloj osnovnih usluga i osnovni sloj.



Slika 2 - iOS slojevi [2]

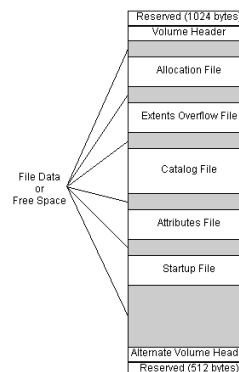
4.2. iOS fajl sistem

Fajl sistem koji se koristi na iPhone-u i drugim iOS uređajima je HFSX (Hierarchical File System) koji predstavlja varijaciju HFS Plus-a. HFSX razlikuje mala i velika slova dok ih HFS Plus ne razlikuje. OS X koristi HFS Plus podrazumevano a iOS koristi HFSX.

HFS Plus fajl sistem je nastao iz razloga da se prilagodi skladištenju velikih skupova podataka. Memorija u HFS fajl sistemu je predstavljena pomoću volumena. Oni su podeljeni u sektore od 512 bajtova. Ovi blokovi su grupisani zajedno u alokacione blokove. Njihov broj

zavisi od ukupne veličine volumena. HFS Plus koristi adrese blokova od 32 bita za adresiranje blokova alokacije. HFS Plus fajl sistem omogućava efikasno korišćenje prostora na disku, Unicode podršku za imena datoteka, vođenje evidencije o transakcijama, dinamičke promene veličine i mogućnost pokretanja na operativnim sistemima koji nemaju Mac OS.

HFS Plus volumen sadrži više internih struktura kako bi rukovodio organizacijom podataka. Struktura volumena je prikazana na slici 3.



Slika 3. HFS Plus struktura volumena [2]

Fajl sistem je podrazumevano konfigurisan kao dve logičke particije diska:

- Sistemska particija podataka – root ili firmware
- Korisnička particija podataka

Sistemska particija sadrži operativni sistem i sve unapred učitane aplikacije koje se koriste sa iPhone-om. Ona je napravljena samo za čitanje. Korisnička particija sadrži sve korisnički kreirane podatke i ona zauzima najveći deo NAND memorije. Najviše podataka se može naći na ovoj particiji.

4.3. iOS sigurnost

Apple iOS uređaji su dizajnirani sa više slojeva sigurnosti. Hardverske funkcije niskog nivoa štite od napada malware-dok funkcije visokog nivoa operativnog sistema sprečavaju neovlašćenu upotrebu.

Pod iOS sigurnosne slojeve se ubrajaju: lozinka, code signing, sandboxing, enkripcija, zaštita podataka, address space layout randomization, odvajanje privilegija, stack smashing protection, data execution prevention, brisanje podataka, aktiviranje zaključavanja.

4.4. Jailbreaking

Pored svih pomenutih zaštita i sigurnosti koje iOS pruža, danas postoji jedan proces koji ih zaobilazi a to je jailbreaking. On uz pomoć eksploatacije softvera i hardvera skida postavljena ograničenja od strane Apple mobilnog operativnog sistema. On dozvoljava izvršavanje nepotpisanog koda i dobijanje root pristupa na operativnom sistemu. Jailbreaking može pomoći u forenzičkoj akviziciji ali će poništiti garanciju koju korisnik ima, može „slomiti“ telefon i može da ne podrži vraćanje na fabrička podešavanja.

Skoro sve verzije iOS-a se mogu jailbreak-ovati.

5. AKVIZICIJA PODATAKA IZ iOS UREĐAJA

Postoje mnogi forenzički alati i metode koje zahtevaju da se uređaj nalazi u jednom od sledećih režima rada – normalni režim, režim oporavka i DFU režim, kako bi se akvizicija uspešno izvršila.

Normalni režim rada - Kada je iPhone uključen, butovan je normalan režim. U ovom modu mogu se izvršavati najregularnije aktivnosti (dopisivanje, razgovor, itd).

Režim oporavka - Tokom boot-up procesa, ukoliko jedan od koraka ne može da se ispuni (da se učita i verifikuje naredni), boot-up proces se zaustavlja i na iPhone-u se prikazuje crni ekran sa jasnom slikom da treba izvršiti povezivanje iPhone i iTunes-a USB kablom. Ovaj režim je režim oporavka i on se koristi prilikom nadogradnje uređaja ili za reinstalaciju uređaja.

DFU režim - Tokom boot-up procesa, ukoliko Boot ROM nije u mogućnosti da verifikuje LLB, onda se na iPhone-u prikaže crni ekran. Ovaj režim je poznat kao Device Firmware Upgrade (DFU). Ovaj režim je režim niskog nivoa i dizajniran je za izvršavanje firmware nadogradnja za iPhone.

Za fizičku akviziciju podataka iOS uređaja biće objašnjene dve metode – akvizicija pomoću prilagođenog diska i preuzimanje slike sistemske korisničke particije.

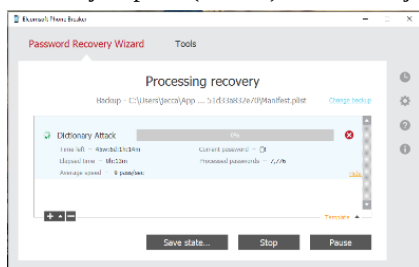
Akvizicija pomoću prilagođenog diska podrazumeva iskorišćavanje slabosti u boot procesu dok je uređaj u DFU režimu tako što se učita prilagođen disk i preko njega se dobije pristup fajl sistemu. Prilagođen disk sadrži forenzičke alate potrebne za kopiranje fajl sistema preko USB-a kroz SSH tunel.

Kako se iOS uređaj sastoji od dve particije, sistemske i korisničke, cilj **akvizicije podataka preuzimanjem slike sistemske korisničke particije** je da se se izvuku svi podaci sa ovih particija. Kompletan forenzička analiza podrazumeva da su preuzeti podaci sa obe particije. Većina forenzičkih alata preuzima sliku obe particije zajedno.

Akvizicija podataka uz pomoć iOS rezervnih kopija je veoma korisna kada fizička, fajl sistem ili logička ekstrakcija iOS uređaja nije moguća. U takvim situacijama, ispitivači kreiraju rezervnu kopiju uređaja i analiziraju je koristeći određeni forenzički alat. Sam proces kreiranja rezervne kopije se vrši na iPhone-u, dok se pomoću USB-a te kopije strimuju na kompjuter. Rezervne kopije mogu enkriptovane. Enkriptovane rezervne kopije sadrže par dodatnih podataka koje obična rezervna kopija nema.

5.1. Elcomsoft Phone Breaker alat

Elcomsoft Phone Breaker je komercijalni alat napravljen od strane Elcomsoft kompanije za Windows platformu. Ovaj alat može dešifrovati enkriptovane rezervne kopije kada lozinka nije dostupna. Obezbeđuje opciju brute-force ili dictionary napada (slika 4) za otkrivanje lozinke.



Slika 4. Izvršavanje dictionary napada

Lozinke koje su kratke i jednostavne, mogu biti pronađene u razumnom vremenu. Ukoliko je je lozinka jaka i kompleksna, pronalazak može trajati dosta dugo.

6. ZAKLJUČAK

Mobilni uređaji su nezaobilazno sredstvo u svakodnevnom životu pojedinaca. Namenjeni za komunikaciju i korišćenje raznih servisa, sa sobom nose mnoštvo podataka o korisnicima. Kao takvi postaju glavna meta raznih zloupotreba i kriminalnih aktivnosti zbog podataka kojima su pohranjeni.

U ovom radu je obrađena tematika digitalne forenzike mobilnih uređaja sa akcentom na iOS koja je jedna od najzastupljenijih platformi.

Digitalna forenzika, konkretno forenzika iOS uređaja je značajna i jedna je od brzo rastućih grana. Svakodnevno se usavršava i prati trendove koje joj novi modeli uređaja nameću. Neosporno je da će, u budućnosti, biti jedna od najrazvijenijih grana digitalne forenzike.

7. LITERATURA

- [1] Milana M. Pisarić, Posebnosti dokazivanja dela visokotehnološkog kriminala, Univerzitet u Beogradu, Pravni fakultet, Beograd, 2016. [Online] Dostupno: <https://uvidok.rcub.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/1097/Doktorat.pdf?sequence=1> (pristupljeno u avgustu 2020.)
- [2] Arnes André, Digital forensics: an academic introduction. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc., 2018.
- [3] ROHIT TAMMA, HEATHER MAHALIK AND SATISH BOMMISSETTY, Practical Mobile Forensics - Second Edition, Packt; May 2016
- [4] Milorad S. Markagić, Forenzika mobilnih uređaja, 2013, pp.123-135,. [Online] Dostupno: <https://cyberleninka.ru/article/n/forenzika-mobilnih-ure-aja/viewer> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [5] Predrag Alargić, Tanja Kaurin, Digitalna forenzika mobilnih uređaja korišćenjem JTAG interfejsa, 2013. [Online] Dostupno: <https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2013/radovi/RSS-8/RSS-8-6.pdf> (pristupljeno u avgustu 2020.)
- [6] Istraživanje globalnog indeksa o konkurentnosti Svetskog ekonomskog foruma (WEF) za 2019. godinu; <https://www.weforum.org/> (pristupljeno u avgustu 2020.)

Kratka biografija:



Jelena Maravić je rođena 16. jula 1996. godine u Subotici. Završila je osnovnu školu „Kizur Išvan“ u Subotici, a zatim je upisala opšti smer – Ekonomski tehničar u srednjoj ekonomskoj školi „Bosa Milićević“ u Subotici. Godine 2014. osvaja prvo mesto na Republičkom takmičenju ekonomskih srednjih škola iz matematike. Školske 2015/2016. godine upisuje Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, na studijskom programu Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije. Diplomirala je 2019. godine sa temom „Softverski paket za podršku rada sistema bioskopa“. Master studije je upisala iste godine, na istom odseku, modul Elektronsko poslovanje.

**PREDIKCIJA POPULARNOSTI OBJAVA NA SAJTU 9GAG NA OSNOVU SLIKE
POPULARITY PREDICTION OF 9GAG POSTS BASED ON IMAGE ANALYSIS**Svetislav Simić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je eksperimentisano sa više modela mašinskog učenja za predikciju popularnosti objave na 9gag društvenoj mreži. Fokus je na predviđanju popularnosti objava na osnovu analize slike. Slike su analizirane izvlačenjem tri grupe obeležja, koje predstavljaju: (1) skup objekata prepoznatih na slici, (2) postojanje prepoznatog popularnog šablona na slici i (3) dužinu tekstualnog sadržaja na slici. Drugi pristup analizi slika je end-to-end pristup, koji se bazira na dubokom učenju. Modeli predstavljeni u radu su deo šireg sistema koji predviđa popularnost objave na osnovu kombinovanih informacija ekstrahovanih iz slike, teksta, i metapodataka. U radu je eksperimentisano i sa više pristupa kombinovanja ovih informacija.

Ključne reči: istraživanje podataka, analiza podataka, računarski vid, mašinsko učenje, regresiona analiza

Abstract – This paper presents multiple experiments with machine learning models for predicting the popularity of 9gag posts. The focus is on post popularity prediction based on image analysis. The images were analyzed by extracting three groups of features: (1) a set of objects detected on the image, (2) detection of a popular meme pattern on the image, and (3) length of the textual data contained in an image. The second approach of image analysis was a deep learning end-to-end approach. The presented image analysis models are parts of a broader system that predicts the post popularity by combining various sources of information: image, text, and meta-data. The paper discusses multiple approaches to integrate this information.

Keywords: data mining, data analysis, computer vision, machine learning, regression analysis

1. UVOD

Za internet mim (eng. *internet meme*) ne postoji formalna definicija [1]. Obično se smatra da je to sadržaj koji se širi preko Interneta, tipično putem društvenih mreža, i ima za cilj da bude šaljiv. Najčešće se javlja u vidu slike sa tekstom, ali se javlja i kao video-klip, kraći tekst i sl.

Popularnost mimova i uticaj koji mogu da imaju je privukao pažnju i akademske zajednice i industrije [2]. Istraživači pokušavaju da opišu kako se neki internet mim razvija i da predvide koji mimovi će opstati i širiti se preko Interneta. Kada je u pitanju komercijalni značaj mimova, koriste se u viralnom marketingu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jelena Slivka, vanredni profesor.

Ovaj rad je fokusiran na platformu i društvenu mrežu 9gag [3], koja omogućava korisnicima postavljanje i deljenje sadržaja. Platforma je zamišljena kao kolekcija internet mimova. Objave na 9gag-u mogu biti u formi slike ili video-klipa, sa pratećim naslovom i tagovima.

Konkretna problem kojim se bavi ovaj rad je predikcija popularnosti objava na sajtu 9gag¹, na osnovu multimedijalnog sadržaja povezanih sa objavama, odnosno, na osnovu slike, pošto je analiza objava koje sadrže video-klipove svedena na analizu onih koje imaju obične slike. Cilj je ustanoviti koji vizuelni elementi objave u najvećoj meri utiču na njenu popularnost. Na ovaj način bi mogla da se steknu saznanja o raspoloženju i stavovima ljudi o određenim temama, što, pre svega, može biti značajno u sferi marketinga.

Različitim metodama analize, iz slika su ekstrahovana obeležja. Za prvu grupu obeležja, detektovana su prisustva određenih tipova objekata na slici. Takođe, ekstrahovano je obeležje koje predstavlja indikaciju da li slika pripada nekom od često korišćenih, popularnih šablona ili ne. Treće obeležje se kreira na osnovu teksta, koji može biti prisutan na slici, i predstavlja prepoznatu dužinu teksta u karakteristikama.

Ovaj rad je deo šireg istraživanja koje za određivanje popularnosti objave sadrži i analizu tekstualnog sadržaja objava. Analiza tekstualnog sadržaja obuhvata analizu komentara i naslova objave. Prilikom određivanja konačne procene popularnosti uzimaju se u obzir i određeni metapodaci, a to su broj komentara na objavu i podatak o tome koji je tip multimedijalnog sadržaja objave.

Prilikom kombinovanja sistema koji analiziraju tekstualni sadržaj i sadržaj slike objave, isprobana su dva pristupa kombinovanja dobijenih obeležja. Prvi („jednostavni“) pristup podrazumeva konkatiranje svih ekstrahovanih obeležja i njihovo prosleđivanje jedinstvenom modelu koji vrši regresiju. U drugom („stacking“) pristupu, prvo se vrše zasebne procene popularnosti objave na osnovu podataka dobijenih: (1) analizom slike, (2) analizom sentimenta komentara (3) analizom ključnih reči u naslovu i (4) dostupnih metapodataka. Potom se dobijene predikcije prosleđuju kao ulazne vrednosti za novi regresioni model, koji donosi konačnu procenu. Rezultati pokazuju da, od analiziranih obeležja, najveći uticaj na dobru konačnu predikciju ima analiza sentimenta komentara. Analiza slike ima značaj, ali je on manji, dok analiza ključnih reči u naslovu ne doprinosi boljoj uspešnosti modela. Najznačajniji uticaj u konačnoj proceni imaju korišćeni metapodaci.

¹ <https://9gag.com/>

Konačno, isproban je takozvani „end-to-end“ pristup, koji se zasniva na dubokom učenju. Predikcija popularnosti objave se u ovom slučaju donosi isključivo na osnovu analize slike. Upotrebom ovog pristupa dobijani su nestabilni rezultati.

Prema znanju autora, ovo je prvi rad koji koristi ovakav skup podataka prikupljen sa *9gag* sajta. Zbog toga ne postoje rezultati najboljeg (*state-of-the-art*) rešenja sa kojima bi mogli da se porede oni koji su dobijeni u ovom istraživanju. Najbolje ostvarene performanse su 0.44 za koeficijent determinacije, 0.66 za Spirmanov koeficijent korelacije i 0.71 za srednju kvadratnu grešku. Ove vrednosti su dosta lošije kada se koriste samo podaci dobijeni analizom slika.

U poglavlju koje sledi prikazan je pregled istraživanja koja na određeni način mogu dati smernice za rešavanje problema, koji je predmet ovog istraživanja. Način formiranja skupa podataka opisan je u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju je opisan razvijeni sistem, kao i metode koje su korišćene za ekstrakovanje određenih informacija iz početnog skupa podataka analizom slika. Rezultati dobijeni za sve primenjene pristupe su prezentovani u petom poglavlju. Konačno, u šestom poglavlju izvršena je sumarijacija rada i opisane su neke ideje i mogućnosti za unapređivanje postojećeg rešenja.

2. SRODNA ISTRAŽIVANJA

Meghawat i saradnici su pokušali da predvide popularnost objava na društvenoj mreži *Flickr*² [4]. Opisani pristup prilikom predikcije koristi vizuelna obeležja koja se dobijaju analizom slike, obeležja dobijena analizom teksta objave i društvena obeležja, poput prosečnog broja pregleda korisnika koji je objavu postavio. Korišćen je postojeći SMP-T1 skup podataka, koji su autori dodatno proširili. Predikcija popularnosti na osnovu slike vršena je korišćenjem tehnike transfera učenja (eng. *transfer learning*) nad pretreniranom dubokom konvolutivnom neuronskom mrežom. Predikcija popularnosti na osnovu naslova i tagova se bazira na upotrebi rečnika, a sentiment opisa je određen pomoću *Stanford CoreNLP*³ biblioteke. Preostala obeležja su direktno korišćena u konačnoj predikciji. Ovakvom analizom se došlo do 15 obeležja, na osnovu kojih se vrši procena popularnosti upotrebom konvolutivnog modela. Zaključak opisanog rada je da je korišćenje multimodalnog pristupa bilo opravdano.

Mazloom i saradnici su pokušali da identifikuju koji aspekti u objavama, koje se odnose na brendove brze hrane na društvenoj mreži *Instagram*⁴, utiču na to da objave budu popularnije [5]. Za to su koristili devet obeležja. Za analizu da li se na slici nalaze logo brenda, osobe i proizvod korišćen je *Google Vision API*⁵. Određivanje sentimenta objave vršeno je na osnovu vizuelnog i tekstualnog sentimenta. Vizuelni sentiment je određivan analizom slike korišćenjem *Sentibank* detektora [6]. Sentiment teksta je dobijen analiziranjem teksta iz *hashtag*-ova, naslova i komentara na objavi pomoću *SentiStrength* [7] metode. Estetika slike je određivana analizom primenjenih filtera na sliku. Skup podataka je

dobijen sakupljanjem podataka o 75 000 objava, koje se odnose na šest poznatih lanaca brze hrane. Rezultati eksperimenata su pokazali da je značajno koristiti i vizuelna i tekstualna obeležja za predikciju popularnosti objave.

Predviđanje popularnosti multimedijskog sadržaja na osnovu multimodalnih podataka je problem koji rešavaju *Hu* i saradnici [8]. Korišćen je skup podataka YFCC100M [9], koji se sastoji od 100 miliona javnih slika i video klipova sa društvene mreže *Flickr*. Analizirane su vizuelne osobine slika i podaci o tagovima na objavama. Podaci o tagovima su reprezentovani rečnikom od 2000 najpopularnijih tagova. Metodama dubokog učenja izvlačene su vizuelne osobine sa svake slike. Rezultati su pokazali da korišćenje podataka o tagovima daje najbolje rezultate, koji su bolji i od multimodalnog pristupa.

Khosla i saradnici su sprovedi istraživanje o tome šta jednu sliku na društvenoj mreži *Flickr* čini popularnom [10]. Analiziraju se dva aspekta, a to su socijalni sadržaj i sadržaj slike. Korišćen je skup podataka sa ukupno oko 2.3 miliona slika sa *Flickr*-a. Analizirane su brojne stvari vezane za sadržaj slika, počevši od obeležja niskog nivoa, do objekata na slikama. Pokazalo se da dominantna boja u određenoj meri može imati veze sa popularnošću. Međutim, veći značaj imaju neka malo složenija obeležja, kao što su gradijent i teksture, a isto važi i za koncepte visokog nivoa, u vidu prepoznatih objekata.

3. SKUP PODATAKA

Prema znanju autora, nije poznato da postoji javno dostupan skup podataka pogodan za ovo istraživanje. Zbog toga je bilo potrebno formirati novi skup podataka. On je kreiran direktnim sakupljanjem podataka sa sajta *9gag*. Sakupljeni su podaci o samim objavama, kao i komentarima na objave.

Podaci su pribavljeni presretanjem poruka koje razmenjuju *frontend* i *backend* aplikacije. Na ovaj način se dobijaju podaci o grupi objava, ali i URL koji je svojevrtni pokazivač na sledeću grupu objava. Sakupljanje komentara za objave je vršeno na sličan način kao i za objave. Sakupljeni su podaci o ukupno 6038 objava i 45 036 komentara.

Kao ciljno obeležje (*score*), kojim se reprezentuje popularnost objave, korišćen je odnos pozitivnih (eng. *upvotes*) i negativnih (eng. *downvotes*) glasova, koje je objava dobila. Pri računanju ovog odnosa se i pozitivnim i negativnim glasovima dodaje jedan fiktivan glas, kako bi se izbeglo deljenje sa nulom. Uočeno je da ovako formirano ciljno obeležje ima raspodelu „dugog repa“ (eng. *long tail*). Zbog toga su vrednosti ovog obeležja transformisane pomoću logaritamske funkcije.

4. SPECIFIKACIJA I IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Ulazni podaci u sirovom obliku su podaci iz baze podataka, koja je popunjavana tokom prikupljanja podataka sa sajta *9gag*-a. U bazi podataka postoje različiti sačuvani podaci, ali nisu svi uzimani u obzir kao relevantni. Slike za objave su pribavljene praćenjem odgovarajućih URL-ova, koji direktno omogućavaju preuzimanje multimedijskog sadržaja. Za one objave koje imaju video-klipove kao multimedijski sadržaj pribavljeni sadržaj je sačuvan kao slika.

² <https://www.flickr.com/>

³ <https://stanfordnlp.github.io/CoreNLP/>

⁴ <https://www.instagram.com/>

⁵ <https://cloud.google.com/vision/>

Od podataka za ukupno 6038 inicijalno sakupljenih objava, za njih 31 nije bilo moguće dobiti sliku ili frejm video-klipa, tako je analiza slika vršena za 6007 objava.

Dva osnovna tipa analize koje su sprovedene su analiza slika i analiza tekstualnog sadržaja. U ovom radu je akcenat na sprovedenoj analizi slika, koja se sastoji od tri osnovna aspekta: (1) prepoznavanje objekata na slikama, (2) prepoznavanje da li je slika nastala na osnovu nekih od često korišćenih šablona i (3) analiza teksta na slikama.

Posebno je testiran takozvani *end-to-end* pristup koji je nezavisan od ostatka sistema. Za njegovu primenu neophodno je samo da postoje pribavljene slike, na osnovu kojih se, u dva koraka, donosi procena popularnosti.

4.1 Ekstrakcija obeležja sa slika

Detekcija objekata je izvršena korišćenjem *SSD MobileNetV2* neuronske mreže [11] za detekciju objekata, trenirane na *Open Images* skupu podataka [12]. Detektovano je ukupno 7459 objekata na 3581 slici. Analizom dobijenih rezultata su izdvojene kategorije koje se najčešće pojavljuju, a izvršena su i određena grupisanja postojećih kategorija. Najveći broj detekcija je bio vezan za ljude na slici. Rezultat transformacija je 15 kategorija koje obuhvataju 6956 originalnih detekcija, što znači da su očuvane informacije o oko 93% prvobitno prepoznatih objekata. Naknadno je utvrđena značajna korelacija između kategorija *person* i *clothing*, pa kategorija *clothing* nije uzimana u obzir u nastavku.

Prepoznavanje da li je slika nastala na osnovu nekih od često korišćenih šablona se svodi na klasifikacioni problem sa 20 klasa, pri čemu 19 klasa predstavljaju različite šablone, a jedna klasa nasumične objave koje nisu nastale na osnovu šablona. Podaci za treniranje su *scrape*-ovani sa sajta *imgflip*⁶. Skup slika je proširen sa 1472 nasumične slike objava sa *9gag*-a. Korišćena je konvolutivna neuronska mreža sa VGG16 arhitekturom 0, pretrenirana na *ImageNet* skupu podataka 0, s tim da je vršeno dodatno treniranje potpuno povezanih slojeva. Nakon deset epoha dobijena je tačnost od 99.5% na test skupu. Pošto je uočen relativno mali broj šablona za pojedinačne odabrane kategorije, odlučeno je da obeležje pokazuje da li je, ili nije, na slici objave prepoznat bilo koji od odabranih šablona.

Konačno, analizom teksta na slikama dobijeno je obeležje koje predstavlja dužinu teksta u karakteristikama. Potencijalna veza dužine teksta sa popularnošću je pretpostavka da ljudi možda ne vole da čitaju dugačke objave [15] ili da ne žele uopšte da čitaju tekst na slikama.

4.2 Predikcija popularnosti

Predviđanje popularnosti objava je vršeno korišćenjem različitih pristupa. Obeležja dobijena analizom slike su nastala opisanim metodama. Analizom komentara i naslova su dobijena obeležja koja se odnose na tekstualni sadržaj objave. Korišćeni su metapodaci o broju komentara na objavi i tipu objave na osnovu multimedijalnog sadržaja.

Kod jednostavnog pristupa, željena obeležja se konkatenuiraju u jedinstveni finalni vektor, koji se potom prosleđuje regresionom modelu. Kao osnovni model (eng.

baseline) korišćen je model koji za svaku objavu predviđa srednju vrednost ciljnog obeležja, imajući u vidu celokupan skup podataka. Kao jednostavniji modeli korišćeni su višestruka linearna regresija i višestruka linearna regresija sa kombinovanom L1 i L2 regularizacijom (*Elastic net*). Modeli od kojih su se očekivali bolji rezultati su SVR, metod slučajnih šuma i model koji odluku donosi na osnovu uprosečavanja predikcija drugih modela (model glasanja). Uprosečavane su vrednosti modela koji su se najbolje pokazali pojedinačno na validacionom skupu kada se koriste svi dostupni podaci, a to su SVR i metod slučajnih šuma.

Stacking pristup se sastoji od posebne predikcije popularnosti objava za podatke iz različitih izvora. Kao regresioni model korišćen je metod slučajnih šuma. Nakon izvršene predikcije za podatke iz svih izvora, njihovi izlazi se koriste kao ulazi za novi model, koji predstavlja meta-regresor. Kao meta-regresor korišćena je višestruka linearna regresija.

End-to-end pristup vrši predviđanje popularnosti objava isključivo na osnovu analize slike objave, upotrebom dubokog učenja. Prva faza je propuštanje ulazne slike kroz konvolutivni autoenkoder, kako bi se dobila reprezentacija slike koja je kompaktnija od originalne, ali i dalje dovoljno ekspresivna. Druga faza se sastoji od iskorišćavanja istreniranog enkodera, na koji se nadovezuju tri potpuno povezana sloja, pri čemu se poslednji sloj sastoji od jednog neurona. Jedini izlaz modela je vrednost koja reprezentuje prediktovanu popularnost. Dodatno, iscrtane su *heatmap*-e za poslednji, izlazni sloj istrenirane neuronske mreže, koja vrši regresiju, kako bi se ustanovilo koji delovi slike doprinose da se prediktovana popularnost poveća ili smanji. Zapaženo je da svetli regioni na slikama imaju najveći uticaj na popularnost.

5. VERIFIKACIJA I REZULTATI

Podaci su deljeni na trening i test skup u odnosu 80:20. Kod jednostavnog pristupa, optimizacija hiper-parametara je vršena unakrsnom validacijom sa deset podela (eng. *folds*). *Stacking* pristup je realizovan po ugledu na opis ovog pristupa koji je dostupan na [16]. Kod *end-to-end* pristupa je tokom treniranja vršena evaluacija modela na test skupu. Za glavnu meru evaluacije može se smatrati koeficijent determinacije (R^2). Kod jednostavnog i *stacking* pristupa praćeni su i Spirmanov koeficijent korelacije (ρ), srednja kvadratna greška (*mean squared error* – MSE) i p-vrednost, kako bi mogla da se proverava nulta hipoteza za prediktore. Funkcija gubitka (eng. *loss function*) kod *end-to-end* pristupa je MSE.

5.1 Rezultati na osnovu analize slike

Kada se posmatraju pojedinačna obeležja, može se primetiti da dužina teksta na slici najviše doprinosi ispravnoj predikciji popularnosti objava. Predviđanje na osnovu obeležja koje ukazuje da je slika objave nastala na osnovu često korišćenih šablona daje najlošije rezultate.

Model koji skoro uvek daje najbolje vrednosti za koeficijent determinacije i MSE je metod slučajne šume. Takođe, kada se koriste svi podaci dobijeni analizom slike, metod slučajne šume je najbolji ($R^2=0.0215$, $\rho=0.1293$ i $MSE=1.2313$). Rezultati *end-to-end* pristupa nisu stabilni na testnom skupu. Iako u fazi treniranja

⁶ <https://imgflip.com/>

vrednost *loss* funkcije relativno konstantno opada do vrednosti od oko 1.25, metrike koje su praćene pokazuju nestabilnost na testnom skupu. Uzrok za ovakvo ponašanje može biti težina problema koji se rešava i relativno mali skup podataka.

5.2 Rezultati na osnovu svih obeležja

Ako se u obzir uzmu sva obeležja dobijena analizom teksta i slike, kao i metapodaci, rezultati su značajno bolji. Najuspešniji model je ponovo metod slučajne šume ($R^2=0.4353$, $\rho=0.6581$ i $MSE=0.7106$), osim kada se posmatraju vrednosti za Spirmanov koeficijent korelacije. SVR daje drastično bolje rezultate kada se koriste metapodaci i tada je slične uspešnosti kao i metod slučajne šume. Može se zaključiti i da dobrim rezultatima najviše doprinose korišćeni metapodaci. P-vrednosti za sve postavke nesumnjivo ukazuju na postojanje statistički značajne korelacije prediktovanih vrednosti i stvarne popularnosti objava. Dobijeni rezultati primenom *stacking* pristupa su praktično identični sa onima koji su dobijeni kada se u jednostavnom pristupu koriste sva obeležja.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen sistem za predviđanje popularnosti objava sa sajta *9gag* na osnovu podataka koji su ekstrahovani analizom slike objave, analizom komentara objave i analizom naslova, a korišćeni su i neki od dostupnih metapodataka. Fokus ovog rada je na ekstrahovanju i analizi podataka sa slika objava. Cilj je bio ustanoviti koji elementi doprinose tome da objava postane popularna.

Nisu pronađena istraživanja čiji bi se rezultati mogli direktno upoređivati sa rezultatima dobijenim u ovom istraživanju. Iako na prvi pogled deluje da oni nisu dobri, pogotovo ako se posmatraju predikcije na osnovu obeležja dobijenih analizom slike, treba imati u vidu težinu problema koji se rešava.

Dalji rad na ovom sistemu bi mogao da se sastoji od usavršavanja metoda koje su korišćene i ponovnog pokušaja da se analiziraju neki aspekti objava, koji do sada nisu preterano uspešno analizirani, uz eventualno uvođenje novih vidova analize i preispitivanje načina na koji se prikupljaju podaci i formira ciljno obeležje. *End-to-end* pristup bi mogao da se razvija u pravcu analize svih aspekata objave, upotrebom dubokog učenja.

7. LITERATURA

- [1] Castaño Díaz, Carlos Mauricio. "Defining and characterizing the concept of Internet Meme." *CES Psicología* 6.2 (2013): 82-104.
- [2] Kempe, David, Jon Kleinberg, and Éva Tardos. "Maximizing the spread of influence through a social network." *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. 2003.
- [3] <https://www.crunchbase.com/organization/9gag> (posećeno septembra 2020.)
- [4] Meghawati, Mayank, et al. "A multimodal approach to predict social media popularity." *2018 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*. IEEE, 2018.
- [5] Mazloom, Masoud, et al. "Multimodal popularity prediction of brand-related social media posts."

Proceedings of the 24th ACM international conference on Multimedia. 2016.

- [6] Borth, Damian, et al. "Sentibank: large-scale ontology and classifiers for detecting sentiment and emotions in visual content." *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia*. 2013.
- [7] Thelwall, Mike, et al. "Sentiment strength detection in short informal text." *Journal of the American society for information science and technology* 61.12 (2010): 2544-2558.
- [8] Hu, Jiani, Toshihiko Yamasaki, and Kiyoharu Aizawa. "Multimodal learning for image popularity prediction on social media." *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*. IEEE, 2016.
- [9] Thomee, Bart, et al. "YFCC100M: The new data in multimedia research." *Communications of the ACM* 59.2 (2016): 64-73.
- [10] Khosla, Aditya, Atish Das Sarma, and Raffay Hamid. "What makes an image popular?" *Proceedings of the 23rd international conference on World wide web*. 2014.
- [11] Sandler, Mark, et al. "Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2018.
- [12] Kuznetsova, Alina, et al. "The open images dataset v4: Unified image classification, object detection, and visual relationship detection at scale." *arXiv preprint arXiv:1811.00982* (2018).
- [13] Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition." *arXiv preprint arXiv:1409.1556* (2014).
- [14] Deng, Jia, et al. "Imagenet: A large-scale hierarchical image database." *2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. Ieee, 2009.
- [15] Lee, Kevan. "The proven ideal length of every tweet, Facebook post, and headline online." *Fast Company*, Apr (2014).
- [16] <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/06/-comprehensive-guide-for-ensemble-models/> (posećeno septembra 2020.)

Kratka biografija:



Svetislav Simić rođen je u Novom Sadu 1996. godine. Osnovne akademske studije završio je 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka, na kom brani i master rad 2020. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarstvo i automatika. kontakt: simicsvetislav@uns.ac.rs

STOHAŠTIČKI BLOK MODEL I KLASIFIKACIJA

STOCHASTIC BLOCK MODEL AND CLASSIFICATION

Vladimir Jankov, Dragana Bajović, Željens Trpovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Analiza stohastičkog blok modela u smislu grafova i kako možemo iskoristiti landing verovatnoće za klasifikaciju. U ovom radu grupisali smo centroide različitih grafova dobijenih stohastičkim blok modelom i utvrdili da njihovi centriodi landing verovatnoća teže jednoj tački [6].

Ključne reči: Grafovi, Stohastički blok model, klasifikacija

Abstract – An analysis of the stochastic block model for graphs and how we can use the landing probabilities for classification. In this work we grouped the centroids of different graphs generated with the stochastic block model and concluded that their landing probabilities converge to a single point.

Keywords: Graphs, Stochastic block model, classification

1. UVOD

U ovom radu analizirali smo stohastički blok model i kako se on može primeniti na grafove. Dali smo primer i definiciju stohastičkog blok modela i sliku grafa generisanog SBM modelom.

Pored toga, analizirali smo interakcije unutar čvorova kroz njihove landing verovatnoće.

Generisali smo više različitih grafova sa istim parametrima na osnovu stohastičkog blok modela i utvrdili kako se njihovi predstavnici ponašaju.

U radu je najviše akcenat stavljen na landing verovatnoće i njihovu interpretaciju.

2. STOHAŠTIČKI BLOK MODEL

Stohastički blok model je probabilistički ili generativni model koji dodeljuje probabilističku vrednost za svaki par čvorova i, j . Generativni modeli su veoma efikasni načini kodiranja određenih pretpostavki o načinu interakcija nepoznatih parametara pri formiranju veza između čvorova.

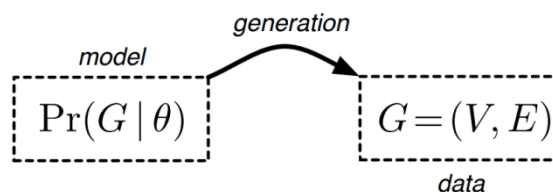
Prednost ovakvih modela jeste u tome što nam pružaju mogućnost da koristimo „likelihood skorove“, koji su zasnovani na osnovnim principima statistike i verovatnoće kako bi poredili različite parametrizacije i druge slične modele.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentori su bili dr Dragana Bajović, docent i dr Željens Trpovski, vanr. prof.

Još jedna od prednosti jeste u tome što nam oni omogućavaju da predstavimo svet eksplicitno, za razliku od standardnih pristupa gde bismo morali da nekim algoritmom tako nešto nadogradimo. Njihovi parametri često imaju direktnu interpretaciju iz neke pretpostavke o strukturi mreže grafa.

Kao i ostali generativni modeli, stohastički blok model definiše distribuciju nad grafom $P(G|\Theta)$, gde je Θ skup parametara nad grafom (verovatnoća da čvor pripada određenoj zajednici ili da postoji veza između 2 čvora (Slika 1)). Na osnovu parametara Θ moguće je izgenerisati celu strukturu grafa.



Slika 1. Generisanje grafa na osnovu verovatnoća

2.1. Definicija

U najosnovnijoj varijanti stohastički blok model se može definisati pomoću:

- k : skalar koji predstavlja broj grupacija unutar grafa.
- z : $n \times 1$ vektor skrivenih labela čvorova z_i je grupni index i -tog čvora.
- M : je $k \times k$ stohastička blok matrica, gde je M_{ij} verovatnoća da je čvor i povezan sa čvorom j .

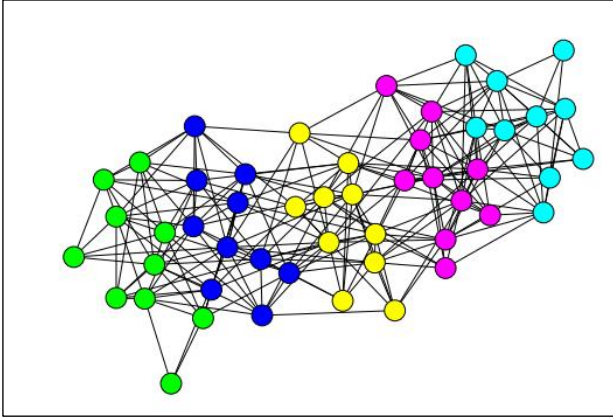
U samoj implementaciji stohastičkog blok modela, korisnik zadaje klasne verovatnoće, verovatnoće povezanosti dva čvora kada su iz iste klase p_{in} i kada nisu p_{out} . Na uniforman način se dodeljuju skrivene labele čvorovima i prisustvo veze između dva čvora [3]. M matrica sadrži vrednost p_{in} na glavnoj dijagonali, a na ostalim mestima p_{out} . Posmatrali smo model sa 2 klase. Za vrednosti p_{in} i p_{out} odabrali smo 0.8 i 0.2, a verovatnoće pripadanja bilo kojoj od dve klase jednake su.

2.2. Primer grafa i M matrice

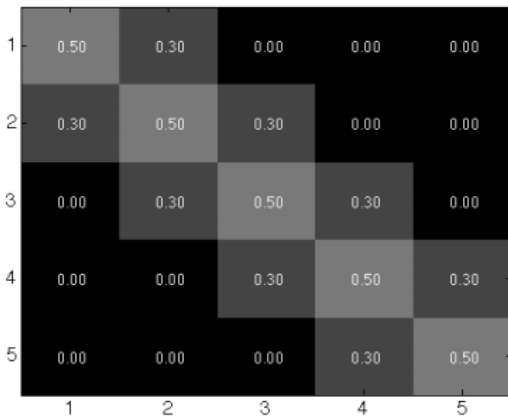
Primeri grafova dati su na modelima na kojima je prisutno 5 različitih grupa (Slika 2) i interakcije među njima su različite. U zavisnosti od matrice M moguće je naglasiti koje grupe su sličnije. Dobar primer takvih grafova bi bio graf gde je matrica M kod susednih grupa veća tj.

vrednosti pored glavne dijagonale su značajno veće od ostalih grupa, a ipak manje nego na glavnoj dijagonali.

Prikaz ovakvog grafa bi mogle biti grupe ljudi na društvenim mrežama koje često komuniciraju ili predstava podataka sa realnih senzorskih mreža (očitanje temperature) gde će bliži čvorovi imati sličnije vrednosti pa stoga će tu između njih postojati veza. Kod udaljenijih senzora, vrednosti će biti različite pa samim time neće postojati veza između tih čvorova.



Slika 2. Uređen graf sa 5 zajednica (grupacija)



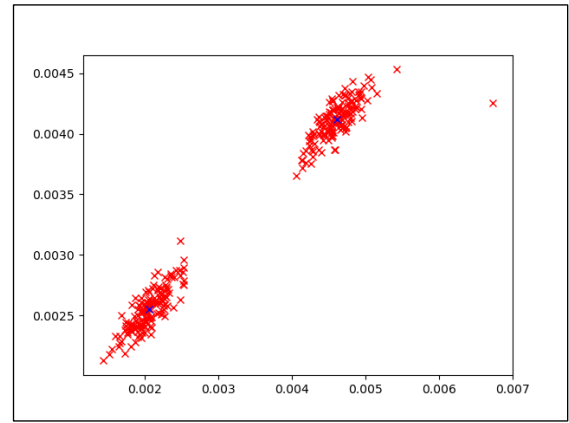
Slika 3. M matrica grafa sa slike 2.

3. METODOLOGIJA I ANALIZA

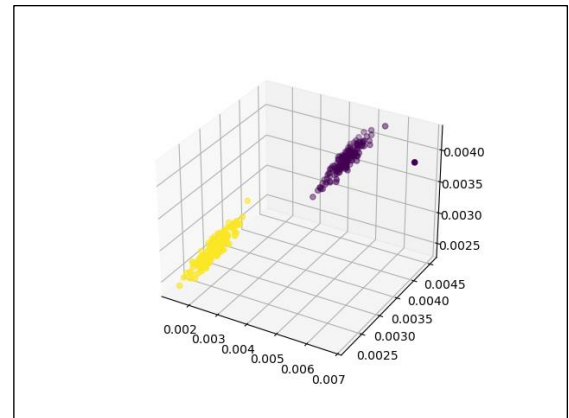
Fokusirali smo se na određivanje *landing* verovatnoća r_k^v . One predstavljaju verovatnoću da ćemo se naći u v -tom čvoru nakon k koraka počevši od nekog fiksnog čvora.

Grupisali smo više *landing* verovatnoća od prve pa do dobijene nakon K koraka u jedan vektor r^v tj. vektor r^v sadrži sve verovatnoće ($r_1^v, r_2^v, \dots, r_K^v$).

Kako bismo uočili pravilnosti na grafiku (Slika 3) smo prikazali vektor (r_2^v, r_3^v) i (r_2^v, r_3^v, r_4^v). Za ovu analizu izgenerisali smo graf preko stohastičkog blok modela sa 300 čvorova i za verovatnoće p_{in} i p_{out} smo uzeli vrednosti 0.8 i 0.2. Verovatnoće za skrivene labele su jednake (klasne verovatnoće).



Slika 3. *Landing* verovatnoće (r_2^v, r_3^v) grafa sa 300 čvorova



Slika 4. *Landing* verovatnoće (r_2^v, r_3^v, r_4^v) grafa sa 300 čvorova

Ponavljajući ovaj postupak uočili smo pravilnost da centriodi, različitih grafova generisanih stohastičkim blok modelom sa istim parametrima, teže ka jednoj tački (Slika 4). Centroidi se računaju prema sledećoj formuli:

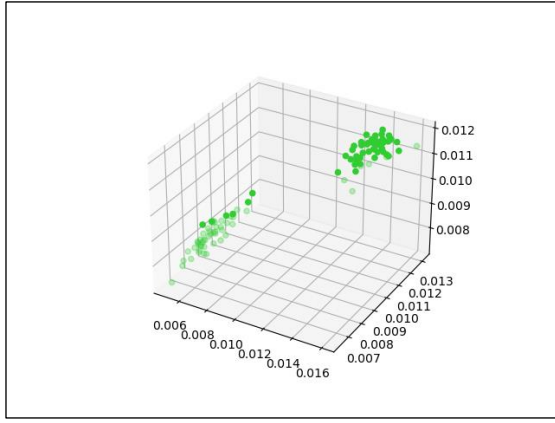
$$a^{\wedge} = \frac{\sum_{r^v \in c_1} r^v}{n_1} \quad (1)$$

$$b^{\wedge} = \frac{\sum_{r^v \in c_2} r^v}{n_2} \quad (2)$$

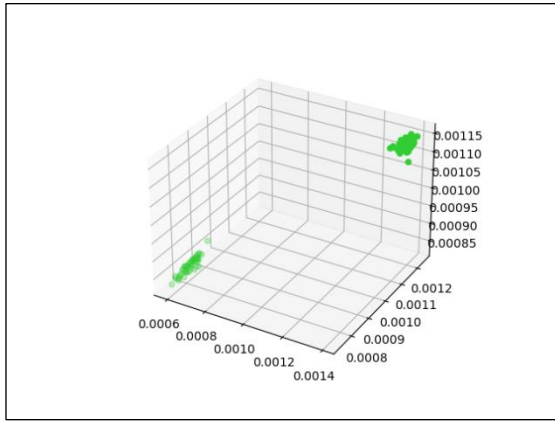
Napravili smo 50 grafova i na 3D grafiku prikazali njihove centriode kao i u prethodnom eksperimentu. Imali smo dve realizacije, kada imamo 100 čvorova (Slika 5) i kada imamo 1000 čvorova (Slika 6). Primetili smo da povećanjem broja čvorova u grafu njihovi centriodi teže ka elipsoidnom obliku i da njih možemo interpretirati kao predstavnike za čvorove koji pripadaju određenoj klasi. Ova tvrdnja je dokazana u radu [1] i tvrdi da centriodi grafova zavise od verovatnoća p_{in} i p_{out} . Razlika centrioda $\omega^{\wedge} = a^{\wedge} - b^{\wedge}$ se može aproksimirati sledećim izrazom:

$$\psi^{\wedge} = \frac{1}{N} \left(\frac{p - p_{out}}{p + p_{out}} \right)^k \quad (3)$$

gde je k broj skokova u grafu.



Slika 5. Centroidi landing verovatnoća grafova sa 100 čvorova



Slika 6. Centroidi landing verovatnoća grafova sa 1000 čvorova

Iz plotova se može jasno uočiti tvrdnja da teže ka elipsoidu što je dokazano u radu [1]. Prednost ovakvog pristupa ogleda se u tome da nam nisu neophodne skrivene labele kako bismo vršili klasifikaciju čvorova, dovoljno nam je da poznamo osobine grafa kako bi estimirali verovatnoće p_{in} i p_{out} . Uz poznate verovatnoće, možemo izračunati centroide i samim tim vršiti klasifikaciju. Dok kod metoda kao što su k-means moramo poznavati labele čvorova, izračunavati distance i iterativno dolaziti do centroida, ovom metodom možemo da ih izračunamo i samim time koristimo za klasifikaciju.

4. KLASIFIKACIJA

Kako bi klasifikacija bila izvršena neophodno je formirati koeficijente ω diskriminantne funkcije. Polazi se od Fišerove formulacije diskriminantne funkcije gde su nam neophodni centroidi i varijanse labeliranih čvorova u grafu. Definišemo verovatnoće da za zadat vektor landing verovatnoća $r = (r_1, \dots, r_K)$ čvor pripada klasi 0 ili 1:

$$P(z = 1) \propto |\Sigma_a|^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}(r-a)^T \Sigma_a^{-1}(r-a)} \quad (4)$$

$$P(z = 1) \propto \Sigma_b \vee^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}(r-b)^T \Sigma_b^{-1}(r-b)} \quad (5)$$

Pod uslovom da su poznati parametri stohastičkog blok modela, verovatnoća da neki čvor pripada klasi a je jednaka broju čvorova u klasi a podeljena sa ukupnim

brojem čvorova u klasi a. Sa tim poznatim parametrima, logaritamski odnos verovatnoća je jednak:

$$g(r) = \ln \frac{P(z = 1)P(z = 1)}{P(z = 0)P(z = 0)} = \omega^T r + r^T W r + \omega_0 \quad (7)$$

Konstanta ω_0 se može odbaciti jer je ona jednaka za sve čvorove i dalje neće uticati na klasifikaciju. Ako pretpostavimo da su kovarijanske matrice jednake i dijagonalne ($\Sigma_a = \Sigma_b = \sigma^2 I$), dobijemo oblik prvobitne geometrijske diskriminantne funkcije:

$$g_1(r) = \sigma^{-2}(a - b)^T r + C \quad (8)$$

Parametri ovih jednačina uglavnom nisu poznati, i moraju da se estimiraju. Za estimaciju parametra stohastičkog blok modela $G((n_a, n_b), P)$ gde su verovatnoće p_{11} i p_{22} jednake p_{in} , a verovatnoće p_{12} i p_{21} jednake p_{out} . Ako nam je poznat matrica susedstva grafa, parametri p_{in} i p_{out} se estimiraju pomoću sledećih formula

Parametri ovih jednačina uglavnom nisu poznati, i moraju da se estimiraju. Za estimaciju parametra stohastičkog blok modela $G((n_a, n_b), P)$ gde su verovatnoće p_{11} i p_{22} jednake p_{in} , a verovatnoće p_{12} i p_{21} jednake p_{out} . Ako nam je poznat matrica susedstva grafa, parametri p_{in} i p_{out} se estimiraju pomoću sledećih formula [2]:

$$p_{out}^{\wedge} = \frac{(s_3 - s_2 s_3) m_1^3 + (s_2^3 - s_3) m_2 m_1 + (s_3 s_2 - \dots)}{(m_1^2 - m_2)(2s_2^3 - 3s_3 s_2 + s_3)} \quad (9)$$

$$p^{\wedge} = \frac{m_1 + (s_2 - 1)p_{out}^{\wedge}}{s_2} \quad (10)$$

gde su s_2, s_3, m_1, m_2, m_3 parametri dobijeni pomoću matrice susedstva i broja pripadnika određenih klasa:

$$s_2 = n_a^2 + n_b^2 \quad (11)$$

$$s_3 = n_a^3 + n_b^3 \quad (12)$$

$$m_1 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,j=1, i \neq j} A_{ij} \quad (13)$$

$$m_2 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i,j,k=1, i \neq j \neq k} A_{ij} A_{ik} \quad (14)$$

$$m_3 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i,j,k=1, i \neq j \neq k} A_{ij} A_{ik} A_{jk} \quad (15)$$

Nepoznata kovarijanska matrica koja se koristi u Fišerovoj diskriminantnoj funkciji, sa estimiranim parametrima $\hat{p}_{in}, \hat{p}_{out}$ i gde je $n_a = n_b$, može se estimirati

ponavljanjem simulacije grafa sa tim parametrima putem Monte Carlo metode i izračunavanjem centroida $a^{(j)}$ za svaku od realizacija grafa G , gde je j indeks Monte Carlo simulacije [4,7]. Kovarijansne matrice Σ_a računa se po sledećoj formuli:

$$\Sigma_a = \sum_{j=1}^J \frac{(a_k^{(j)} - \underline{a}_k)(a_k^{(j)} - \underline{a}_k)^T}{J} \quad (16)$$

gde se $\underline{a}_k = \frac{\sum_{j=1}^J a_k^{(j)}}{J}$ iJ je ukupan broj Monte Carlo simulacija. Isto tako se estimira kovarijansna matrica Σ_b centroida $b^{\wedge}$.

Pored ovog pristupa, uz poznavanje labela trening skupa podataka, moguće je izračunati vrednosti za p_{in} i p_{out} . Na osnovu matrice susedstva i poznatih labela tih čvorova verovatnoću p_{in} izračunavamo tako što saberemo jedinice iz matrice susedstva kod čvorova iz istih klasa i podelimo sa ukupnim brojem mogućih veza unutar klase [5], dok p_{out} izračunavamo kao broj veza van klase podeljeno sa mogućim brojem veza van klase.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodnih analiza može se zaključiti da kod grafova koji se ponašaju kao stohastički blok model mogu se odrediti skrivene zajednice na osnovu njihovih *landing* verovatnoća. Centroidi reprezentativnih klasa su jasno uočljivi, lako se izračunavaju i mogu se iskoristiti za klasifikaciju.

Postoje mogućnosti predstave raznih skupova podataka preko grafova. Ako se podaci predstavljaju preko grafa ponašaju na sličan način kao stohastički blok model, postoji mogućnost pravljenja efektivnih klasifikatora podataka.

Ovakva vrsta klasifikacije može biti veoma pogodna za klasifikaciju zajednica na društvenim mrežama, s tim da se ove zajednice ponašaju na sličan način.

Prednost ovakvog klasifikatora jeste to da parametri p_{in} i p_{out} mogu da se estimiraju analitički na osnovu matrice susedstva. U našem slučaju to nije bilo pogodno koristiti zbog haotičnosti podataka i nepredvidljivosti generisanja matrice susedstva, dok u slučajevima gde su jasnije definisana susedstva, moguće je koristiti ovakve formule.

6. LITERATURA

- [1] Isabel Kloumann, “Block Models and Personalized PageRank”, *Proc. National Academy of Sciences*, 114(1) 33-38, 3 January 2017

- [2] Emmanuel Abbe, Afonso S Bandeira, and Georgina Hall, “Exact recovery in the stochastic block model”, *IEEE Transactions on*, 62(1):471–487, 2016.
- [3] http://vtsns.edu.rs/wp-content/uploads/2019/01/Primetode-modelovanja-rizika-eksp_Skripta-I-deo.pdf (pristupljeno u septembru 2020.)
- [4] James P Bagrow, “Evaluating local community methods in networks”, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(05):P05001, 2008.
- [5] A.E. Bryson, Y.C. Ho, “*Applied Optimal Control*”, New York, Wiley, 1975.
- [6] Emmanuel Abbe, “Community Detection and Stochastic Block Models: Recent Developments”, *Journal of Machine Learning Research* 18 (2018) 1-86.
- [7] Paul Erdos and Alfred Renyi, “On random graphs”, *Publ. Math. Debrecen.*, 6:290–297, 1959

Kratka biografija:



Vladimir Jankov rođen je u Zrenjaninu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Komunikacione tehnologije i obrade signala odbranio je 2020.god. kontakt: vlajkoyjj@gmail.com



Dragana Bajović diplomirala je na Smeru za automatiku na Elektrotehničkom fakultetu, Univerzitet u Beogradu, 2007. Doktorirala je 2013. u okviru dualnog programa između Univerziteta Karnegi Melon, Pitsburg, SAD, i Visokog tehničkog instituta u Lisabonu, Portugal. Dr. Bajović je takođe diplomirala na Fakultetu muzičke umetnosti, Univerzitet u Beogradu, na Odseku za opštu muzičku pedagogiju, 2012.



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

SOFTVERSKI SISTEM ZA OBRADU PRAVNIH DOKUMENATA ZASNOVAN NA TEHNIKAMA SEMANTIČKOG VEB I MAŠINSKOG UČENJA**SOFTWARE SYSTEM FOR LEGAL DOCUMENT PROCESSING BASED ON SEMANTIC WEB AND MACHINE LEARNING TECHNIQUES**

Stefan Ruvčeski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj –U ovom radu predstavljen je softverski sistem za obradu pravnih dokumenata australijskog saveznog suda. Pomenuti sistem se sastoji iz tri logičke celine: semantički veb, sumarizacija i modelovanje tema. Prva celina predstavlja populisanje ontologije i ekstrakciju relevantnih semantičkih veza unutar iste. Druga se zasniva na sumiranju obimnih dokumenata u kratak tekst koji sadrži najbitnije iz originalnog. Treća celina sve dokumente svrstava u definisani broj tema kako bi se korisniku olakšala pretraga relevantnih. Predloženi sistem zasnovan na gore navedenim tehnikama obezbeđuje podršku za semantičku pretragu, kratak opis obimnog dokumenta i prikaz svih dokumenata iste teme.

Ključne reči: *semantički veb, ontologija, sumarizacija, modelovanje teme*

Abstract – This paper presents a software system for processing legal documents of the Australian Federal Court. The mentioned system consists of three logical segments: semantic web, summarization, and topic modeling. The first segment represents the popularization of the ontology and the extraction of relevant semantic connections within it. The second is based on summarizing extensive documents into a short text that contains the most important from the original. The third unit classifies all documents into a defined number of topics to make it easier for the user to search for relevant ones. The proposed system based on the above techniques provides support for semantic search, a brief description of an extensive document, and a display of all documents on the same topic.

Keywords: *semantic web, ontology, summarization, topic modeling*

1. UVOD

Ljudska potreba da pretražuje internet što efikasnije, sa što manje utrošenog vremena i napora uz veliku pomoć samih računara koji bi to obavljali umesto njih i davali im preporuke i sažetke, je osnovna ideja rada.

Sa sve većim brojem informacija na vebu, korisnici nemaju vremena da čitaju obimne tekstove da bi pronašli informacije koje su im potrebne.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milan Segedinac, vanr. prof.

Sa sve većim brojem digitalnih podataka koji su obimni, kao što su pravna dokumenta, naučni radovi, edukativni materijali i slično, dolazi do potrebe za njihovom sumarizacijom i izvlačenjem konteksta kako bi ljudima bilo lakše da ih konzumiraju. Pored potrebe da se izvuče suština celokupnog dokumenta u par rečenica, javlja se potreba i da takvi dokumenti, koji se nalaze na vebu, budu mašinski čitljivi. Takođe pomenuti podaci ne pripadaju već predodređenim temama, bilo bi od koristi ljudima kada bi prilikom konzumiranja određenih dokumenata dobili preporuku semantički sličnih.

Za današnji (klasični) veb može se reći da je veb dokumenata (eng. *web of documents*), tj. da je sadržaj povezan na nivou reprezentacije. Žargonski rečeno, današnji veb je milijama širok, ali dubok svega nekoliko inča. Semantički veb je proširenje klasičnog veba kojim bi se omogućilo razumevanje i obrada podataka od strane računara (eng. *web of data*). Osnovna ideja semantičkog veba jeste da se postojeće informacije, razumljive za čoveka, prošire dodatnim mašinski čitljivim informacijama.

Važnost brzog pronalaska podatka koji je potreban se ogleda i u pogledu tema. U današnje vreme potreba za preporukama od strane sistema je veća nego ikada od postojanja veba. Korisnik, nakon pronalaska podatka koji zadovoljava kriterijume, ne želi ponovo da prolazi kroz ceo proces pronalaženja sličnog podatka. Bitno je predložiti mu relevantne podatke trenutnom prikazu kako bi mu se olakšala pretraga sličnih. Ovaj deo je osnova tehnike nazvane modelovanje tema koja je obuhvaćena u ovom radu.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Jasno je da ontologije imaju široku mogućnost primene u pravnom domenu. Jedna od mogućih primena ontologija u pravu jeste semantičko indeksiranje i pretraživanje.

Ideja ovakve primene jeste predstavljanje semantike sadržane u dokumentima kako bi se olakšalo pretraživanje.

Ontologija za predstavljanje pravnih slučajeva opisana u ovom radu implementirana je upravo sa ciljem da se koristi za semantičko pretraživanje. Još jedna od mogućih primena ontologija je semantičko integrisanje (interoperabilnost), u kom ontologija ima ulogu zajedničkog jezika prilikom razmene informacija između različitih aplikacija. Pored navedenih primena, ontologije pravnog domena moguće je koristiti i za organizaciju i strukturiranje

informacija, razumevanje domena, kao i podršku rasuđivanju i rešavanju problema.

Postoji veliki broj različitih podela sumarizacije, čiji je pregled dat u radu [1]. Zavisno od načina na koji se generiše sažetak originalnog teksta, postoje dva različita pristupa automatskoj sumarizaciji teksta: ekstraktivni i apstraktivni. Sumarizacijom zasnovanom na ekstrakciji dobija se sažetak koji se sastoji iz najbitnijih delova teksta, izdvojenih iz izvornog dokumenta [2].

Prethodno pomenuti način analogan je podvlačenju (označavanju) bitnih delova teksta u knjizi prilikom učenja.

Sumarizacijom zasnovanom na apstrakciji generišu se nove fraze i rečenice, koje nisu deo izvornog teksta, i koje sadrže najznačajnije informacije iz originalnog teksta. Ovakav pristup automatskoj sumarizaciji znatno je komplikovaniji, jer zahteva model koji pored prepoznavanja bitnih delova teksta treba da uči i gramatiku prisutnu u dokumentima, da bi bio u stanju da generiše gramatički ispravne rečenice sažetka.

Pregled različitih tehnika apstraktivne sumarizacije dat je u radu [3].

Obrada prirodnog teksta (*NLP*) predstavlja izazovno istraživanje iz računarske nauke za upravljanje informacijama i omogućavanje računarima da izvuku semantički značajne informacije iz tekstualnih dokumenata. Metode modelovanja tema su snažne inteligentne tehnike koje se široko primenjuju u obradi prirodnog jezika za otkrivanje tema i semantičkog značenja iz neuređenih dokumenata.

3. SISTEM ZA OBRADU PRAVNIH DOKUMENATA

Rezultat rada je LCR (*Legal Case Reports*) aplikacija namenjena pravnim licima. Detaljniji prikaz iste biće dat u narednom poglavlju. U ovom detaljnije će biti objašnjena implementacija segmenata koji čine rad celinom.

3.1. Implementacija segmenta semantičkog veba

Ontologije su često u osnovi sistema koji podržavaju odgovore na pitanja, izvlačenje informacija i modelovanje znanja. Koriste se za modelovanje domena znanja za koju je razvijen sistem i osnovne konceptualne strukture. Dizajn sistema zasnovanih na ontologiji obično se dodeljuje računarima kojima je pored tehničkog znanja potrebno dodatno znanje o domenu za koji se sistem razvija. Posebno izazovan domen je zakon, gde se koriste koncepti povećanja složenosti i koji su povezani jedni sa drugima [4]. U tom kontekstu, postoji potreba za definisanjem alata koji mogu da podrže i programere i krajnje korisnike u pravcu boljeg razumevanja pravnih koncepta izraženim u pravnim ontologijama, tako da se izabere informisana odluka o izboru najbolje ontologije, zavisno od cilja sistema.

Za implementaciju ontologije opisane u ovom radu korišćene su već postojeće ontologije za pravni domen: *LKIF Core* i *JudO*. *LKIF Core* (*Legal Knowledge Interchange Format*) je biblioteka ontologija razvijanih za pravni domen i deo je arhitekture sistema pravnog znanja [5].

Sastavljena je iz više modula koji opisuju skupove usko povezanih koncepta iz pravnog domena.

Opisana ontologija populisana je podacima iz 120 sudskih slučajeva. Korišćeni skup podataka sastavljen je od slučajeva australijskog saveznog suda (*Federal Court of Australia*). Podaci su javno dostupni i mogu se preuzeti sa [6] gde postoji i detaljniji opis podataka. Za potrebe populisanja ontologije, iz sirovih tekstova slučajeva ručno su ekstrahovani sledeći podaci prikazani u tabli ispod.

Tabela 1. Izvučeni podaci radi populisanja

case_id	Identifikator slučaja
case_name	Naziv slučaja
judgement_date	Datum presude
hearing_date	Datum saslušanja
judgement_registry	Registar
jurisdiction_court	Nadležni sud
jurisdiction_court_city	Grad
judge	Sudija
side1_counsel	Branioci prve strane
side1_solicitor	Advokati prve strane
side2_counsel	Branioci druge strane
side2_solicitor	Advokati druge strane
side1_role	Uloga prve strane
side1	Imena učesnika prve str.
side2_role	Uloga druge strane
side2	Imena učesnika druge str.
legal_rules	Akti
referenced_cases	Referencirani slučajevi
ref_names	Imena slučajeva

3.2. Implementacija segmenta sumarizacije

Kao što je već rečeno, u okviru ovog rada implementiran je sistem za automatsku sumarizaciju sudskih presuda, zasnovan na ekstrakciji i nenadgledanom mašinskom učenju.

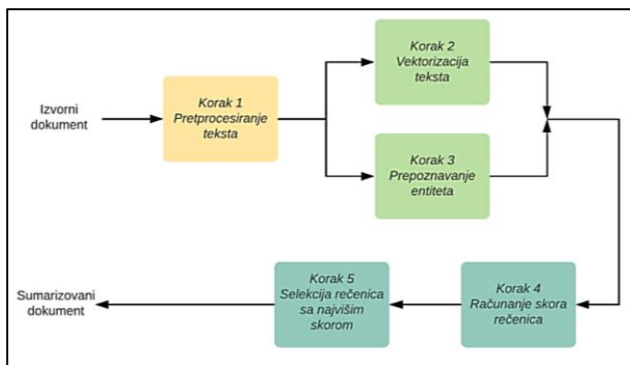
Implementacija sistema podrazumeva više koraka, koji obuhvataju: pretprocesiranje izvornog teksta, vektorizaciju teksta, identifikovanje entiteta u rečenicama, formiranje svojstava i računanje skora za svaku rečenicu i ekstrakciju rečenica sa najvišim skorom. Sve navedene funkcionalnosti objedinjene su u poseban modul za sumarizaciju teksta.

Korišćeni skup podataka sastavljen je od pravnih dokumenata australijskog saveznog suda (*Federal Court of Australia*), prikupljenih od 2006. do 2009. godine. Podaci se mogu preuzeti u *xml* formatu sa (*Legal Case Reports*, 2020), gde postoji i detaljniji opis formata podataka i mogućih pravaca istraživanja.

Slika 1. predstavlja dijagram toka aktivnosti u okviru sumarizacije teksta. Različitim bojama predstavljeni su različiti tipovi zadataka.

Žutom bojom označeno je pretprocesiranje teksta izvornog dokumenta, zelena boja predstavlja korake procesiranja, tj. ekstrakcije svojstava

za svaku rečenicu, i plavom bojom predstavljeni su završni koraci formiranja sumariзованog teksta.



Slika 1. Dijagram toka obrade teksta

Skor rečenice računa se na osnovu ukupnog TF-IDF skora i identifikovanih entiteta rečenice. TF-IDF skor rečenice predstavlja sumu skorova pojedinačnih reči, normalizovan na dužinu rečenice. Korak normalizacije je važan, kako bi se izbeglo favorizovanje dugačkih rečenica. Tabela 1 prikazuje vrednosti svojstava za nasumično odabranih nekoliko uzastopnih rečenica jednog pravnog dokumenta. Atributi rečenica formiraju TF-IDF skor i brojevi svih identifikovanih entiteta od strane spaCy NER modela. Dodatno, za svaku rečenicu beleži se i njena dužina, tj. broj reči, da bi se izvršila normalizacija TF-IDF skora prilikom računanja konačnog ranga rečenice. Bitno je napomenuti da se dužina rečenice određuje nakon izbacivanja stop reči, jer samo preostale reči formiraju TF-IDF skor rečenice.

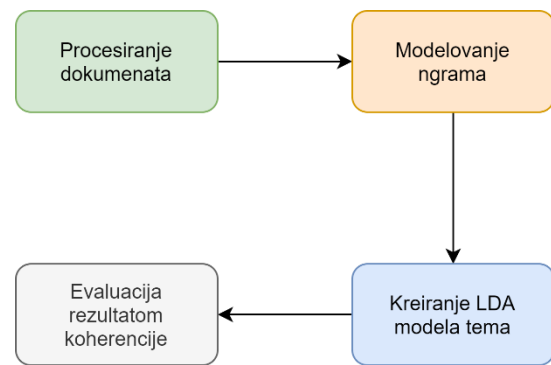
Tabela 2. Svojstva dela rečenica sudske presude

Svojstva	Rečenice							
TF-IDF	4.3	3.6	3.3	3.9	4.1	2.8	3.7	
Person	0	0	0	0	1	1	0	
Norp	0	0	0	0	0	0	0	
Fac	0	0	0	0	0	0	0	
Org	0	2	1	0	0	0	0	
Gpe	0	0	1	0	0	0	0	
Loc	1	0	0	0	0	0	0	
Product	0	0	0	0	1	0	0	
Date	1	0	0	0	0	0	0	
Time	0	0	1	0	0	0	0	
Percent	0	0	0	0	0	0	0	
Money	0	0	0	0	0	0	0	
Quantity	0	0	0	0	0	0	0	
Ordinal	0	0	0	0	1	0	0	
Cardinal	0	0	0	0	0	0	0	
Length	20	15	12	16	18	8	15	

2.3. Implementacija segmenta modelovanja teme

Poslednja, od tri, celina je posvećena pronalasku tema dokumenata iz korpusa istih. Da bismo korisniku sistema omogućili vizuelnu preporuku sličnih dokumenata za konzumiranje prvenstveno ih je potrebno svrstati u određen broj tema.

U ovom radu je korišćen LDA model tema, koji je opisan u prethodnom poglavlju. Da bi se njime pronašao optimalan broj tema i dokumenti razvrstali u njih potrebno je ispratiti tok operacija prikazan na slici 2.



Slika 2. Tok modelovanja tema

Podrazumevani koraci ovog segmenta su preprocesiranje dokumenata, koji transformaciju dokumenata u tekstualni oblik lakši za dalji rad. Nakon transformacije, izvršava se tokenizacija nad tekstom i uklanjaju se stop reči. Time za svaki dokument se kreira lista tokena kojima je isti definisan. Kreiranje n-grama, talnije bigrama i trigrama. U oblasti računarske lingvistike i verovatnoće, n-gram je neprekidni niz od n stavki iz datog uzorka teksta ili govora.

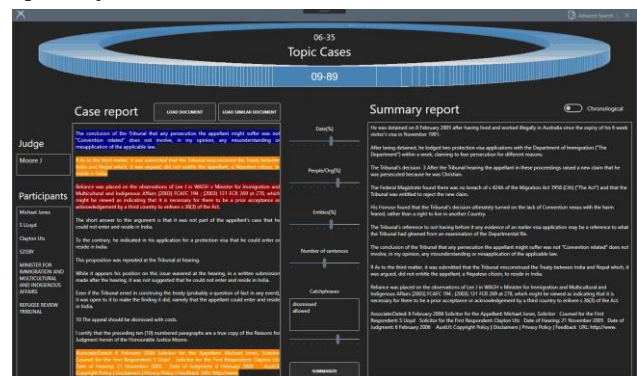
Nakon kreiranja n-grama, dolazi treći korak, modelovanje tema pomoću LDA modela. Prilikom kreiranja modela potrebno je definisati parametre, od kojih su najbitniji, korpus dokumenata nad kojim se trenira, rečnik i broj tema u koje treba podeliti dokumente. Rezultat ove faze je set podataka prikazan na slici 3.

dominant_topic	perc_contribution	topic_keywords	filename
4.0	0.4499	motion, relief, plead, trial, paragraph, actio...	06_1.xml
2.0	0.4290	contravention, penalty, charge, offence, crimi...	06_100.xml
0.0	0.4153	client, letter, email, advice, produce, record...	06_1001.xml
12.0	0.2248	agreement, contract, business, lease, clause, ...	06_1004.xml
16.0	0.3211	income, payment, trustee, assessment, bankrupt...	06_1005.xml

Slika 3. Rezultati modelovanja tema

4. PRIKAZ SLUČAJEVA

Pravna lica, konstantno pretražuju obimne dokumente, pokušavajući da pronađu informacije koje će im pomoći u trenutnim slučajevima. To je glavna motivacija, da korisnik lakše dođe do suštine dokumenta, sažetkom istog, da pretraži ostale dokumente iste teme i upitima kroz interfejs dođe do specifičnih informacija koje nudi aplikacija.



Slika 4. LCR Aplikacija

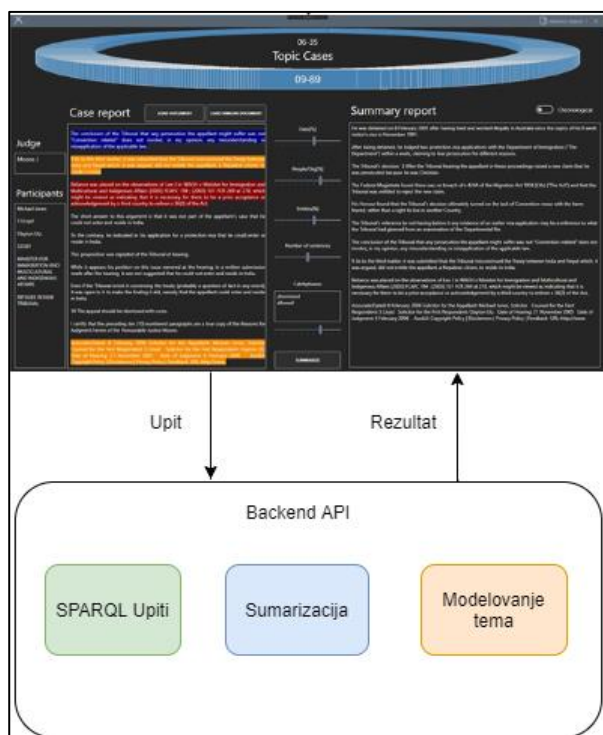
Na slici 4. je prikazan interfejs aplikacije. Mogu se učitati tri celine koje su opisane kroz prethodna poglavlja ovog rada. Na samom vrhu korisnik aplikacije može da prođe kroz sve nazive dokumenata koji su relevantni, tačnije nalaze se u istoj temi kao trenutni dokument. Ispod relevantnih dokumenata se nalazi sekcija posvećena sumarizaciji. Sa leve strane korisnik može učitati dokument koji će mu se prikazati u levom polju, zatim u sredini može namestiti parametre entiteta, koji su mu bitniji koji ne u trenutnoj sumarizaciji.

Nakon što pritisne dugme za sumarizaciju original tekst sa leve strane će podvući najbitnije rečenice dok će se te iste rečenice, izdvojene, prikazati na desnoj strani.

Način prikaza zavisi od toga kako je korisnik izabrao da mu se rečenice prikazu, hronološki ili po bitnosti istih u tekstu. Poslednji segment interfejsa zasnovan je na ekstrakciji informacija iz ontologije putem SPARQL upita. Na levoj strani interfejsa može se videti sudija slučaja koji trenutni dokument opisuje, kao i učesnike u slučaju.

Aplikacija opisana u prethodnom pasusu je jedan deo, većeg sistema koji se sastoji od prikazane aplikacije (*frontend*) i API (*application programming interface*) dela gde se nalazi kompletna logika i implementacija svakog segmenta (*backend*).

Ove dve aplikacije komuniciraju, tačnije *frontend* aplikacija poziva akcije backend API-ja putem HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) protokola. Nakon što je opisan celokupan sistem, u nastavku poglavlja biće objašnjen a implementacija svakog segmenta, u vidu dijagrama slučaja. Na slici 5. se može videti ta komunikacija između dva dela sistema.



Slika 5. Interakcija dva dela sistema

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je softverski sistem, nazvan *Legal Case Report*, za lakšu pretragu obimnih digitalnih dokumenata. Sistem nudi sumarizaciju teksta radi bržeg shvatanja konteksta celokupnog teksta. Nudi ekstrakciju određenih informacija putem SPARQL upita u pozadini. Pored navedenih funkcionalnosti, poslednja je prikaz relevantnih dokumenata, tačnije dokumenata koji pripadaju istoj temi.

Softverski sistem sastoji se iz dve glavne komponente, prototip aplikacije za pravna lica, koja realizuje interakciju sa korisnicima sistema putem interfejsa, i softverska biblioteka koja obavlja svu logiku predstavljenu u ovom radu, izloženu putem API-ja koji poziva prvi deo istog sistema putem HTTP protokola.

Jedan od mogućih pravaca budućeg rada jeste poboljšavanje dela sistema koji se bavi prepoznavanjem imenovanih entiteta. Zbog specifičnosti teksta i entiteta koji se pojavljuju u pravnim dokumentima, bilo bi dobro probati sa podešavanjem (eng. *tuning*) i dodatnim treningom postojećih NER modela u okviru spaCy biblioteke.

Budući da pravnici većinu posla za računarom provode koristeći Microsoft Word, jedan od pravaca budućeg rada mogao bi biti kreiranje *plugin*-a za Word, upotrebom implementiranog modula za automatsku sumarizaciju.

6. LITERATURA

- [1] M. Ramezani, *Ontology-Based Automated Text Summarization Using FarsNet*. Tabriz, 2015.
- [2] V. Gupta & G. Lehal, *A Survey of Text Summarization*, 2010.
- [3] S. Gupta & S. K. Gupta, *Abstractive Summarization: An Overview of the State of the Art*. Expert Systems With Applications, 2018.
- [4] V. Leone, L. Di Caro & S. Villata, *Legal Ontologies and How to Choose Them*, 2020.
- [5] R. Hoekstra, J. Breuker, M. Di Bello & A. Boer, *The LKIF Core Ontology of Basic Legal Concepts*, 2007.
- [6] Preuzeto sa: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets>

Kratka biografija:



Stefan Ruvčeski rođen je u Novom Sadu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarstva i automatike – Semantički veb odbranio je 2020.god.

kontakt: stefanruvceski@uns.ac.rs

POREĐENJE SISTEMA ZA SINTEZU EKSPRESIVNOG GOVORA SA MOGUĆNOŠĆU KONTROLE JAČINE EMOCIJE**COMPARISON OF EXPRESSIVE SPEECH SYNTHESIS SYSTEMS WITH THE POSSIBILITY OF EMOTION-STRENGTH ADJUSTMENT**

Mia Vujović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U sintezi ekspresivnog govora važno je generisati emocionalno obojen govor koji odražava kompleksnost emocionalnih stanja. Brojni TTS sistemi emocije u sintetizovanom govoru modeluju u vidu diskretnih skupova, ali tek kada se uzmu u obzir i varijacije koje postoje unutar emotivnih stanja, generisani govor može biti nalik ljudskom. Ovaj rad obuhvata teorijsku analizu i poređenje dva inovativna sistema za sintezu ekspresivnog govora koji kompleksnost emocija modeluju u vidu kontinualnih vektora kojima je moguće manipulirati. Rezultati pokazuju da je pristup zasnovan na t-SNE embedding vektorima primjenljiv samo u slučaju specifičnih baza podataka, dok je drugi pristup, zasnovan na interpolaciji tačaka u embedding prostoru multi-speaker, multi-style modela, opštiji, ali zahtijeva dodatnu analizu.

Ključne riječi: ekspresivna sinteza govora, modelovanje emocija, embedding vektori, duboke neuronske mreže

Abstract – In expressive speech synthesis, it is important to generate emotional speech that reflects the complexity of emotional states. Many TTS systems model emotions in discrete codes, but modeling variations within emotional states is crucial for generating human-like speech. The paper presents a theoretical analysis and comparison of two innovative expressive TTS systems that model the complexity of emotion in the form of a continuous vector which can be manipulated. The results show that the approach based on continuous t-SNE embedding vectors is applicable only in the case of specific data bases, while the other approach, based on interpolation of points in the embedding space of a multi-speaker, multi-style model, is more general, but requires additional analysis.

Keywords: expressive speech synthesis, emotion modeling, embedding vectors, deep neural networks

1. UVOD

Analiza i modelovanje emocija od velikog je značaja za moderne govorne tehnologije među kojima je i sinteza govora iz teksta (eng. *Text-To-Speech* - TTS). TTS sistem je jedna od ključnih komponenti u ostvarivanju efikasne komunikacije između čovjeka i mašine. Da bi ova komunikacija bila nalik ljudskoj, potrebno je u

sintetizovani govor unijeti razne govorne stilove, emocije i druge informacije izvan samog tekstualnog sadržaja.

Ovaj rad se bavi problemom ekspresivne sinteze govora gdje je cilj generisati govor u različitim emotivnim stilovima. Brojni su primjeri sistema koji teže da emocije klasifikuju u diskretne skupove [1-4]. Međutim, kako bi govor generisan TTS sistemom bio u potpunosti prirodan, potrebno je uzeti u obzir i varijacije koje postoje unutar emotivnih stanja i omogućiti intuitivnu kontrolu jačine emocije izražene pri sintetizovanom govoru. Cilj rada je teorijska analiza i poređenje dvije inovativne metode koje teže da modeluju kompleksnost emocija u vidu kontinualnih vektora kojima je moguće manipulirati. U prvom pristupu [5], korišćenjem kontrolnog *embedding* vektora kao dodatnog ulaza LSTM (eng. *Long Short-Term Memory* - LSTM) duboke neuronske mreže (eng. *Deep Neural Network* - DNN), omogućena je kontrola nivoa ekspresivnosti. Predloženi model se sastoji od modula za analizu emocija i modula za sintezu govora.

U okviru ovog rada praktično je realizovan modul za emotivnu analizu. Teorijski opis predloženog modela i praktična realizacija dati su u poglavlju 2. Drugi TTS pristup, proširenje je rada [6]. Doziranje emocije izražene pri govoru ostvareno je interpolacijom tačaka u *embedding* prostoru kreiranom obukom *multi-speaker*, *multi-style* modela. Metod je opisan u poglavlju 3. U poglavlju 4 predstavljeni su rezultati subjektivnog testa na osnovu kojeg su pristupi upoređeni. Nakon toga slijede zaključak i literatura.

2. T-SNE EMBEDDING VEKTORI ZA KONTROLU JAČINE EMOCIJE

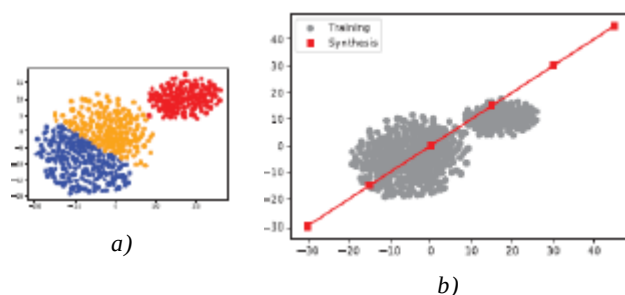
Na Slici 1 prikazana je arhitektura TTS modela. Modul za sintezu govora zasniva se na parametarskoj DNN sintezi. Iz ulaznog teksta izdvojena su jezička obilježja koja se preslikavaju u akustička korišćenjem neuronske mreže. Na osnovu izlaznih akustičkih obilježja, WORLD vokoder generiše govorni signal. Neuronska mreža je imala hibridnu arhitekturu sa tri nerekurzivna skrivena sloja praćenu sa 2 LSTM sloja. Kako bi se mogao sintetizovati govor sa različitim nivoom emocije, kao dodatni ulaz LSTM mreže korišćen je kontrolni 2D vektor dobijen na osnovu modula za emotivnu analizu.

Modul za analizu emocija kao ulaz prima bazu podataka sa govorom u željenom emotivnom stilu. Iz baze se izdvajaju akustička obilježja koja se obično koriste u zadacima prepoznavanja emocija. Za to je upotrijebljen *OpenSMILE* (eng. *open-Source Media Interpretation by*

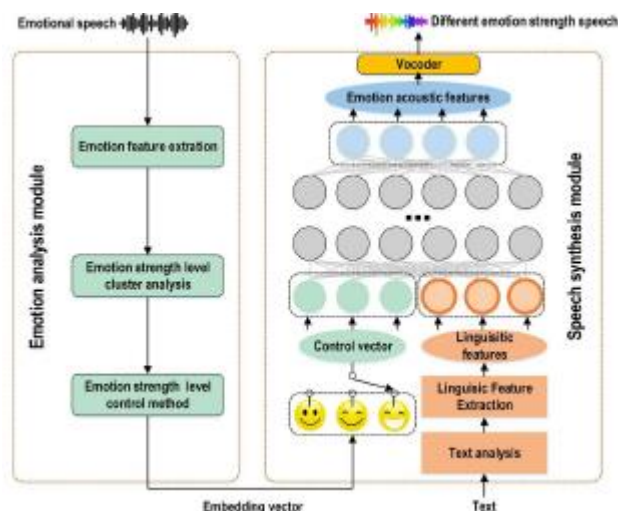
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vlado Delić, red. prof.

Large feature-space Extraction) softverski alat [7] pomoću kojeg je izdvojen 384-dimenzionalni vektor obilježja korišćen u *INTER-SPEECH 2009* emotivnom izazovu. Statističkom analizom obilježja, prostor uzoraka je podijeljen na klaster korišćenjem *k-means* algoritma klasterizacije. Izabrana su tri klastera za podjelu uzoraka u tri emotivna nivoa, a subjektivnim testovima slušanja određeno je koji klaster predstavlja koji nivo emocije (najmanje izražena, srednje izražena i najizraženija). Kako bi se dobio kontrolni 2D vektor, dimenzionalnost prostora obilježja je smanjena korišćenjem t-SNE algoritma (eng. *t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding* – t-SNE) [8]. Klasterizacijska podjela je prikazana na Slici 2a.



Slika 2. a) *K-means* klasterizacija uzoraka emotivne baze srećnog govora; b) Šest embedding vektora korišćenih za testiranje fleksibilnosti modela [5].



Slika 1. Arhitektura ekspresivnog TTS sistema [5].

Primijećena je praktično linearna zavisnost t-SNE obilježja koja opisuju uzorke odgovarajućih klastera, tj. visoke vrijednosti obilježja odgovarale su klasteru sa najizraženijom emocijom, a niske vrijednosti klasteru sa najmanje izraženom emocijom.

Imajući to u vidu, uvedena je pretpostavka da se manipulacijom t-SNE vrijednosti može ostvariti kontinualna kontrola jačine emocije. Kako bi se navedena pretpostavka ispitila, izabrano je 6 tačaka iz t-SNE prostora na jednakom međusobnom rastojanju duž prave $x = y$ (Slika 2b). Eksperimentalni rezultati dobijeni korišćenjem izabranih vrijednosti kontrolnog vektora kao proširenja ulaza LSTM mreže, pokazali su da povećanjem vrijednosti obilježja, raste i jačina emocije izražene pri sintetizovanom govoru. Za navedeni pristup su korišćene emotivne baze sreće i ljutnje za jednog govornika. Baze su bile na kineskom jeziku i nijesu javno dostupne.

2.1. Praktična realizacija modula za emotivnu analizu

Kako bi se ispitalo da li opisani pristup važi u opštem slučaju, na proizvoljnim bazama ekspresivnog govora, modul za analizu emocija je praktično realizovan i primijenjen na bazama podataka na engleskom jeziku, dva ženska i jednog muškog govornika u tri emotivna stila: srećni, tužni i promotivni.

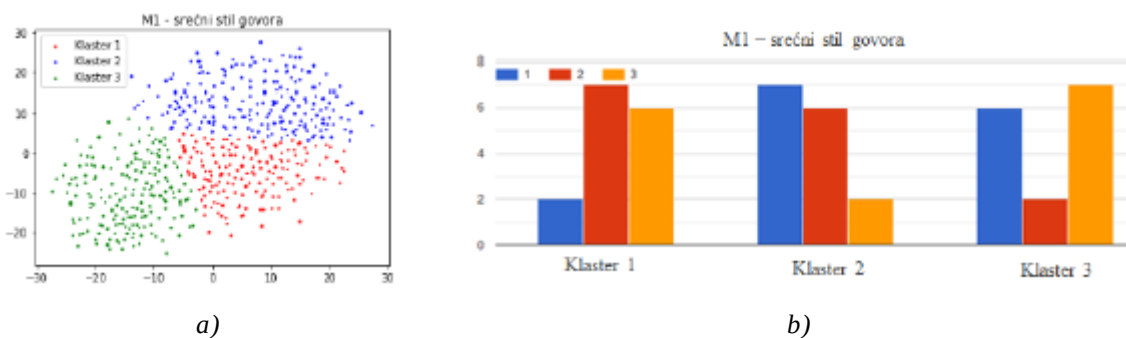
Iz baza podataka su izdvajena ista obilježja kao i u originalnom radu korišćenjem *OpenSMILE* alata. Za analizu podataka i podjelu uzoraka na emotivne nivoe, korišćena su dva pristupa klasterizacije.

U prvom pristupu, sva informacija o podacima je u potpunosti sačuvana, tj. klasterizacija podataka je rađena u 384-dimenzionalnom prostoru obilježja. Takva raspodjela uzoraka je zatim prikazana u 2D prostoru, jer 384-dimenzionalni prostor nije moguće vizualizovati, a i dodatno, bilo je potrebno dobiti *embedding* vektor za reprezentaciju kontinualne snage emocije. U drugom pristupu, polazilo se od hipoteze da je redukcijom dimenzionalnosti moguće poboljšati performanse sistema usljed kompresije irelevantnih podataka, jer mnoga obilježja mogu biti korelisana. Zbog toga je redukcija dimenzionalnosti t-SNE pristupom izvršena prije postupka klasterizacije. U oba slučaja cilj je bio uočiti pravilnosti između klastera, pa manipulirati vrijednostima t-SNE vektora i time omogućiti kontrolu jačine emocije.

Da bi se odredilo koji od formiranih klastera predstavlja koji nivo emocije, formirani su subjektivni testovi slušanja u kojima je učestvovalo 15 slušalaca. Posmatrane su tri emotivne baze: ženski govornik – emocija sreće, muški govornik – emocija sreće i emocija tuge. Iz svakog klastera posmatranih baza je izdvojeno po 15 audio signala i klaster je trebalo poredati od 1 do 3, tako da 1 označava klaster sa najmanje izraženom emocijom, a 3 klaster sa najizraženijom emocijom.

Rezultati testova su bili prilično ujednačeni, što je i očekivano, jer baze podataka nijesu snimane planski tako da reflektuju različite emotivne nivoe. Ipak, i na osnovu minimalnih razlika definisano je koji klaster predstavlja koji nivo, kako bi se rezultati mogli porediti sa onima iz originalnog rada.

Nijedan od dva klasterizacijska pristupa nije doveo do linearne zavisnosti t-SNE obilježja i jačine emocije kakva je ostvarena u originalnom radu. Tako npr., ako bi opisani pristup važio u opštem slučaju, kod muškog govornika i srećnog stila govora, očekivano bi bilo da klaster 3 predstavlja najmanje izraženu emociju, klaster 1 srednje izraženu, a klaster 2 najizraženiju emociju (Slika 3a). Međutim, ako bi pristup bio vođen testovima slušanja (Slika 3b), zavisnost bi se modelovala suprotno od one opisane u radu, tj. veće t-SNE vrijednosti u ovom slučaju bi značile manje izraženu emociju (klaster 2), a manje vrijednosti izraženu emociju (klaster 3). I to je primijećeno samo u slučaju ove baze. U drugim primjerima, neko univerzalno pravilo o tome kako se mijenjaju t-SNE vrijednosti u zavisnosti od klastera (nivoa emocije) nije bilo moguće izvesti. Svakako, čak i ako bi pri svakoj govornoj bazi postojala različita, ali jasno uočljiva zavisnost između nivoa emocije i t-SNE vrijednosti, pošto



Slika 3. a) K-means klasterizacija uzoraka emotivne baze srećnog govora muškog govornika; b) Rezultati subjektivnih testova za emotivnu bazu srećnog govora muškog govornika.

ona ne važi u opštem slučaju, uvijek bi je trebalo prethodno testirati, pa tek onda upotrijebiti za sintezu što bi pristup učinilo nepraktičnim.

Uzimajući u obzir činjenicu da subjektivni testovi u radu [5] pokazuju dosljedne rezultate (svi slušaoci su bili usaglašeni oko jačine emocije koju klasteri predstavljaju), pretpostavka je da su baze namjenski snimane tako da se osjete različiti emotivni nivoi, pa su stoga i ostvareni rezultati drugačiji. Svakako, pristup ne važi u opštem slučaju i linearna zavisnost 2D obilježja potrebna za kontinualnu manipulaciju emocijama nije ostvariva u bazama korišćenim u ovom radu.

3. KONTROLA NIVOA IZRAŽENE EMOCIJE INTERPOLACIJOM TAČAKA U EMBEDDING PROSTORU

Sinteza govora u određenom govornom stilu i sa određenim glasom, na osnovu male količine ciljnih podataka stila/govornika, predstavljena je u radu [6].

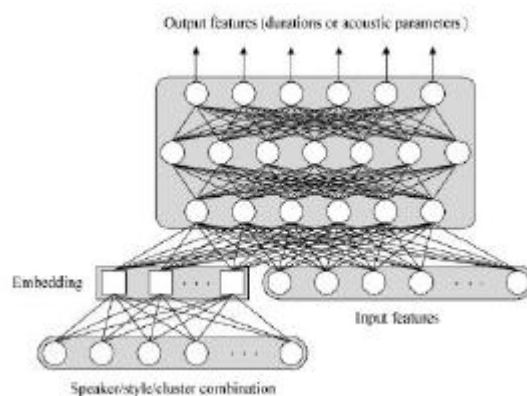
Pristup se zasniva na standardnoj DNN sintezi koja obuhvata dvije neuronske mreže – mrežu za predviđanje trajanja fonema i mrežu za predviđanje akustičkih obilježja. Da bi se modelovale različite kombinacije govornika i stilova kao dodatni ulaz obje mreže koriste se N -dimenzionalni vektor koji je obuhvatao ID govornika, ID stila i ID klastera (dio govornog korpusa dosljedan u pogledu akustičkog i proizvodnog kvaliteta), a svi oni su prethodno predstavljeni u obliku združenog 67-dimenzionalnog *one-hot* vektora, što je ukupan broj kombinacija govornika, stila i klastera (eng. *Speaker-Style-Cluster - SSC*) u govornoj bazi. Na slici 4 prikazana je arhitektura mreže. Mreža je mapirala svaki SSC u prostor niže dimenzije ($N = 15$) tako da je svaka kombinacija predstavljena sa dvije tačke u odgovarajućem *embedding* prostoru – jedna je u vezi sa trajanjem fonema, a druga sa akustičkim obilježjima. Za oba *embedding* prostora, bliskost tačka označavala je njihovu perceptivnu sličnost.

Jednom obučena, ovakva mreža mogla je sintetizovati bilo koji govor predstavljen SSC kombinacijom, samo odabirom odgovarajućih 15-dimenzionalnih *embedding* vektora. Takođe, izborom proizvoljne tačke u *embedding* prostoru, mreža je mogla generisati novi, do tada nepostojeći glas. Upravo u tome se krija mogućnost kontinualne kontrole jačine emocije izražene pri sintetizovanom govoru. Izborom tačke c u *embedding* prostoru između neutralnog govora x jednog govornika i određenog stila y tog istog govornika, postiže se kontrola

jačine izražajnosti, i to samo mijenjanjem faktora uticaja α i β , tako da je:

$$c = \alpha * x + \beta * y, \quad (1)$$

pri čemu važi da je $\alpha + \beta = 1$. Što je β veće, emocija je izraženija i obrnuto.



Slika 4. Predložena DNN arhitektura [6].

Za razliku od prethodno predstavljenog modela (poglavlje 2), ovo pravilo je opšte, važi za bilo koji govorni stil ili emociju i ne zahtjeva emotivno-specifične baze podataka.

4. POREĐENJE PRISTUPA I REZULTATI

Kako sinteza govora zasnovana na t-SNE *embedding* vektorima nije mogla biti realizovana usljed nepostojanja zavisnosti između 2D obilježja i jačine emocije, direktno poređenje metoda nije izvršeno. Ipak, potencijalni rezultati prvog pristupa, u vidu rezultata klasterizacije dobijenih u okviru modula za analizu emocija, upoređeni su sa rezultatima sinteze drugog pristupa kroz subjektivni test slušanja u kojem je učestvovalo 14 slušalaca. Test se sastojao od 24 pitanja – 12 sa rečenicama iz orginalne baze i 12 sa sintetizovanim rečenicama. Svako pitanje je sadržalo po 3 audio snimka koje je trebalo poredati od 1 do 3 u zavisnosti od jačine izražene emocije. Vrijednosti parametra β u sintetizovanim rečenicama su iznosile 0.2 za najmanje izraženu emociju, 0.5 za srednje izraženu emociju, dok su vrijednosti 0.8 i 1.0 ravnopravno korišćene u slučaju najizraženije emocije.

Kako nije bilo moguće realizovati sintezu govora pomoću prvog pristupa, u formiranim testovima rečenice nemaju isti sadržaj. Očekivano je da je slušaocu dosta teško da u potpunosti ignoriše sadržaj rečenice i skoncentriše se

samo na način njenog izgovora, pa i to treba uzeti u obzir pri evaluaciji prikazanih rezultata.

Sa prosječnom tačnošću od 17.9% slušaoci su ispravno odgovorili na sva pitanja u vezi sa originalnom bazom podataka, dok je prosječna tačnost porasla na 56.5% u slučaju sintetizovanih rečenica. Zasebnim posmatranjem emotivnih nivoa uočeno je da su svi nivoi prepoznati sa većom tačnošću u slučaju sintetizovanih rečenica (60.0% - 70.0%), dok je tačnost pri prepoznavanju nivoa originalnih rečenica znatno niža (35.0% - 40.0%).

Zanimljiva zapažanja mogla su se izvesti odvojenim posmatranjem rezultata za emocije sreće i tuge (Tabela 1). Visoka tačnost identifikovanja nivoa postignuta je u sintetizovanom srećnom govoru i iznosila je preko 70.0% za najmanje i srednje izraženu emociju, dok je za najizraženiju emociju ona dostigla čak 92.0%. Kod originalnog srećnog govora, tačnost identifikacije nivoa je bila znatno manja, ispod 45.0%. Najveći nivo izražene tuge prepoznat je sa većom tačnošću u slučaju originalnih rečenica, i dostiže 92.9%. Pretpostavlja se da je uzrok ovakvog rezultata to što u bazi postoji mali broj rečenica koje zaista imaju jako izraženu emociju tuge i kao takve su izdvojene u zaseban klaster i prepoznate u slučaju originalne baze. Međutim, kako je emocija u bazi u prosjeku bez većih varijacija u nivoima, kada se obučiti model za tužni i neutralni stil govora, rečenice se ne razlikuju mnogo od ostalih, pa ni interpolacija između neutralnog i tužnog *embedding* vektora ne dovodi do uočljivih razlika. U slučaju najmanje i srednje izražene emocije, neznatno bolji rezultati su postignuti pri sintezi, ali tačnost i dalje ne prelazi 50.0%. Osobe često na različit način ispoljavaju, a samim tim i doživljavaju emociju tuge, pa niska tačnost može biti i posljedica načina doživljaja emocije.

Tabela 1. Tačnost prepoznavanja emotivnih nivoa.

		Srećni stil govora			
		Emocija	Slabo izražena	Srednje izražena	Jako izražena
Audio signali	Original		43.7%	37.5%	42.0%
	Sinteza		76.8%	73.2%	92.0%

		Tužni stil govora			
		Emocija	Slabo izražena	Srednje izražena	Jako izražena
Audio signali	Original		34.0%	33.9%	92.9%
	Sinteza		46.4%	39.3%	34.0%

5. ZAKLJUČAK

Praktičnom realizacijom modula za emotivnu analizu u okviru prvog pristupa pokazano je da zavisnost t-SNE obilježja sa jačinom emocije neophodna za kontinualnu manipulaciju nivoom nije ostvariva u opštem slučaju, odnosno zahtijeva specifične baze ekspresivnog govora u kojima su osjetni različiti emotivni nivoi. Sa druge strane, rezultati subjektivnog testa pokazuju da drugi pristup, zasnovan na interpolaciji tačaka u *embedding* prostoru, ne zahtijeva snimanje specifičnih emotivnih baza, već je upravljanje emotivnim stilom moguće i na osnovu podataka

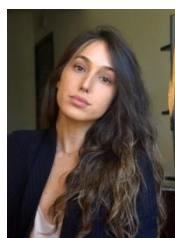
koji ne reflektuju varijacije u jačini ekspresivnosti. Naročito dobri rezultati su postignuti za srećni stil govora, međutim, kako je subjektivni test pokazao znatno lošije rezultate za emociju tuge, potrebno je dodatno ispitati pojedinosti po kojima ovaj pristup funkcioniše.

Dalje istraživanje podrazumijeva dodatna testiranja i analizu pojedinačnih dimenzija *embedding* vektora kako bi se utvrdile pravilnosti za njihovu manipulaciju u cilju potpune kontrole i sinteze govora sa željenim karakteristikama i za govornike za koje je dostupna samo neutralna govorna baza.

6. LITERATURA

- [1] Iida A., Campbell N., Higuchi F., Yasumura M., "A corpus based speech synthesis system with emotion", *Speech Communication* 40, 161–187. 10, 2003.
- [2] Yamagishi J., Onishi K., Masuko T., Kobayashi T., "Acoustic modeling of speaking styles and emotional expressions in HMM based speech synthesis", *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 88, 502–509., 2005.
- [3] L. Xue, X. Zhu, X. An, L. Xie, "A comparison of expressive speech synthesis approaches based on neural network", *Proc.the Joint Workshop of the 4th Workshop 60 on Affective Social Multimedia Computing and first Multi-Modal Affective Computing of Large-Scale Multimedia Data*, pp. 15–20, 2018.
- [4] Katsuki Inoue, Sunao Hara, Masanobu Abe, Nobukatsu Hojo, Yusuke Ijima, "An investigation to transplant emotional expressions in DNN-based tts synthesis", *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Summit and Conference*, pages 1253–1258, 2017.
- [5] Zhu, X., Xue, L., "Building a Controllable Expressive Speech Synthesis System with Multiple Emotion Strengths", *Cognitive Systems Research*, Volume 59, Pages 151-159 January 2020.
- [6] Milan Sećujski, Darko Pekar, Siniša Suzić, Anton Smirnov, Tijana Nosek, "Speaker/Style-Dependent Neural Network Speech Synthesis Based on Speaker/Style Embedding", *Journal of Universal Computer Science*, vol. 26, no. 4, 434-453, 2020.
- [7] Florian Eyben, Felix Weninger, Martin Wöllmer, Björn Schuller, "open-Source Media Interpretation by Large feature-space Extraction", *audEERING GmbH*, Version 2.3, November 2016.
- [8] Laurens van der Maaten, Geoffrey Hinton, "Visualizing Data using t-SNE", *Journal of Machine Learning Research* 9, 2579-2605, 2008.

Kratka biografija:



Mia Vujović rođena je u Nikšiću 1997. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka odbranila je 2019. godine čime je stekla zvanje diplomiranog biomedicinskog inženjera. Iste godine je upisala master studije na Fakultetu tehničkih nauka, smjer obrada signala. Ispite je položila 2020. godine sa prosječnom ocjenom 10.0 i time stekla uslov za odbranu master rada.

DINAMIČKA REKONFIGURACIJA DISTRIBUTIVNE MREŽE PRIMENOM UČENJA POTKREPLJIVANJEM

DEEP REINFORCEMENT LEARNING BASED DYNAMIC DISTRIBUTION NETWORK RECONFIGURATION

Milan Petković, Predrag Vidović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je obrađena dinamička rekonfiguracija distributivne mreže primenom učenja potkrepljivanjem. Problem je modelovan višekriterijumskom funkcijom cilja koja minimizira gubitke energije i gubitke usled manipulacija prekidačima. Broj informacija neophodnih za izvršenje algoritma je redukovano, s obzirom da su topološke informacije i informacije o tokovima snaga smeštene u jedan skup promenljivih. Ovo smanjuje količinu telemetrisanih merenja potrebnih za potencijalno izvršenje algoritma na realnoj mreži i pogodno je sa aspekta treniranja, zbog toga što je smanjena potrebna veličina neuronske mreže.

Ključne reči: dinamička rekonfiguracija, učenje potkrepljivanjem

Abstract – This paper proposes DDNR based on Reinforcement Learning algorithm. It is multi-objective approach which minimizes cost of energy losses and switching manipulations. The amount of information needed for the algorithm execution is decreased, since the topology information and the information about the power flows in the network are compressed in the single set of variables. This reduces the amount of telemetered measurements needed for the potential real-world execution of the algorithm and it is also convenient from the algorithm training perspective, since the required size of the neural network is reduced.

Keywords: dynamic network reconfiguration, reinforcement learning

1. UVOD

Rekonfiguracija distributivne mreže (DM) široko je korišćena energetičarska aplikacija za upravljanje DM. Pre svega, rekonfiguracija se koristi za minimizaciju gubitaka električne energije [1, 2] i odstupanja napona od nominalnih vrednosti [3]. Dodatno, koristi se i za balansiranje opterećenja po fiderima i transformatorima, smanjenje operativnih troškova, kao i u mnogim drugim funkcijama za upravljanje DM [1]. Generalno, postoje dva tipa rekonfiguracije DM, statička i dinamička [4]. Cilj statičke rekonfiguracije jeste optimizacija u tačno određenom vremenskom trenutku, dok se dinamička rekonfiguracija bavi optimizacijom u određenom vremenskom intervalu, npr. 24 časa.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Predrag Vidović, vanr. prof..

Iz tog razloga, dinamička rekonfiguracija pogodna je za aplikacije u realnom vremenu jer se potrošnje, proizvodnje i ostali uslovi u DM menjaju u vremenu. Dinamičkom rekonfiguracijom DM mogu se postići veći benefiti i bolje performanse mreže nego statičkom rekonfiguracijom [4]. Međutim, dinamička rekonfiguracija koristi se samo u potpuno automatizovanim DM.

2. OPTIMALNA REKONFIGURACIJA DISTRIBUTIVNE MREŽE

Funkcija cilja dinamičke rekonfiguracije u ovom radu predstavlja minimizaciju ukupnih troškova usled gubitaka aktivne snage i prekidačkih manipulacija, dok su ograničenja bilansi aktivnih i reaktivnih snaga, naponi čvorova u dozvoljenim granicama, ograničenje struja po granama i radijalan pogon DM.

Funkcija cilja definisana je sledećom relacijom [4]:

$$\min\{\sum_{t=1}^T C_{Loss} \cdot T^t \cdot P_{Loss}^t + C_{SWs} \cdot SW^t\} \quad (2.1)$$

gde je sa T^t naznačeno trajanje vremenskog intervala t , a sa P_{Loss}^t i SW^t gubici aktivne snage i prekidačke manipulacije:

$$P_{Loss}^t = \sum_{b=1}^{N_{Br}} \alpha_b^t R_b \frac{(P_b^t)^2 + (Q_b^t)^2}{(U_b^t)^2}, \quad (2.2)$$

$$SW^t = \sum_{s=1}^{N_{SW}} y_s^t, \quad (2.3)$$

gde su sa N_{Br} i N_{SW} naznačeni ukupan broj grana i ukupan broj prekidača, respektivno.

Sa α_b^t i R_b naznačene su pomoćna promenljiva i rezistansa grane b , respektivno, a sa P_b^t i Q_b^t aktivne i reaktivne snage u vremenskom intervalu t . Njihove vrednosti definisane su relacijama:

$$\alpha_b^t = \begin{cases} x_s^t & \text{grana } b \text{ ima prekidač;} \\ 1 & \text{grana } b \text{ nema prekidač;} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$x_s^t = \begin{cases} 1 & \text{prekidač } s \text{ je zatvoren u intervalu } t; \\ 0 & \text{prekidač } s \text{ je otvoren u intervalu } t, \end{cases} \quad (2.5)$$

$$P_b^t = \{g_{jk}(U_j^t)^2 - U_j^t U_k^t [g_{jk} \cos(\theta_j^t - \theta_k^t) + b_{jk} \sin(\theta_j^t - \theta_k^t)]\} \quad (2.6)$$

$$Q_b^t = \{-b_{jk}(U_j^t)^2 + U_j^t U_k^t [b_{jk} \cos(\theta_j^t - \theta_k^t) - g_{jk} \sin(\theta_j^t - \theta_k^t)]\} \quad (2.7)$$

Ograničenja su:

1. Ograničenje bilansa aktivnih i reaktivnih snaga ($k=1, 2, \dots, N_N$, $b=j-k$):

$$P_j^t = U_j^t \sum_{k=1}^{N_N} U_k^t [g_{jk} \cos(\theta_j^t - \theta_k^t) + b_{jk} \sin(\theta_j^t - \theta_k^t)], \quad (2.8)$$

$$Q_j^t = U_j^t \sum_{k=1}^{N_N} U_k^t [g_{jk} \sin(\theta_j^t - \theta_k^t) - b_{jk} \cos(\theta_j^t - \theta_k^t)]. \quad (2.9)$$

gde je N_N broj čvorova distributivne mreže.

2. Naponsko ograničenje ($j=1, 2, \dots, N_N$):

$$U_j^{\min} \leq U_j^t \leq U_j^{\max}, \quad (2.10)$$

gde su $U_j^{\min}$ i $U_j^{\max}$ minimalni i maksimalni napon čvora j izraženi u kV, respektivno.

3. Strujno ograničenje po granama ($b=1, 2, \dots, N_{Br}$):

$$(P_b^t)^2 + (Q_b^t)^2 \leq (S_b^{\max})^2, \quad (2.11)$$

gde je $S_b^{\max}$ maksimalna dozvoljena prividna snaga grane b izražena u VA.

4. Ograničenje radikalnosti:

$$\sum_{b=1}^{N_{Br}} \alpha_b^t = N_N - 1. \quad (2.12)$$

3. UČENJE POTKREPLJIVANJEM

Učenje potkrepljivanjem (eng. Reinforcement Learning, skr. RL), kao vid mašinskog učenja, bavi se načinom učenja agenta da preduzima akcije u okruženju iskustvom i istraživanjem, u cilju nalaženja optimalne strategije koja maksimizira dobijenu dugoročnu nagradu [5]. Agent predstavlja bilo koji autonomno ili polu-autonomno pogonjen sistem baziran na veštačkoj inteligenciji koji koristi duboko učenje da izvršava svoje zadatke i unapređuje način donošenja odluka u okruženju [6]. Nagrada predstavlja numerički signal koji agent dobija od okruženja. Nagradom je implicitno objašnjeno šta je dobro, a šta loše ponašanje. Politika opisuje način na koji se agent ponaša [7].

4. OPTIMALNA REKONFIGURACIJA PRIMENOM ALGORITMA UČENJA POTKREPLJIVANJEM

U ovom poglavlju opisan je način modelovanja dinamičke rekonfiguracije DM kao problem učenja potkrepljivanjem, kao i funkcija cilja i ograničenja. Takođe, detaljno je opisan algoritam za treniranje modela učenja potkrepljivanjem.

4.1. Modelovanje dinamičke rekonfiguracije kao Markovljev proces odlučivanja

Razmena informacija između agenta i okruženja prilikom njihove interakcije prikazana je na slici 4.1.1.

Epizode se sastoje od 24 koraka i na početku svakog koraka zadaju se vrednosti aktivne i reaktivne snage u potrošačkim čvorovima za naredni sat.

Zatim se izvršava proračun tokova snaga, kako bi se kreirale promenljive stanja, a jedan skup promenljivih stanja sadrži broj koraka i prividne snage svih prekidača u mreži.

Biraju se prividne snage prekidača, a ne aktivne i reaktivne snage, kako bi broj promenljivih stanja bio manji. Dakle, ovakav način izbora promenljivih stanja smanjuje dimenziju prostora stanja kao i veličinu duboke neuronske mreže (eng. Deep Q Network, skr. DQN) zbog toga što su topološke informacije (statusi prekidača) i rezultati tokova snaga sačuvani u jedan skup promenljivih, iz kojeg agent može da kreira svoju reprezentaciju okruženja i poveže ih sa akcijama i dobijenim nagradama.

Prostor akcija sadrži sve kombinacije prekidača koje ne narušavaju radikalnost DM i gde su svi potrošači pod napajanjem.

Ove kombinacije prekidača su numerisane na jedinstven način tako da jednom izlaznom neuronu odgovara jedna kombinacija prekidača koja zadovoljava gorenavedene uslove. Ovakav način definisanja prostora akcija implicira da je radikalnost mreže uvek zadovoljena, što ubrzava proces učenja.



Slika 4.1.1. Interakcija agenta i okruženja za dinamičku rekonfiguraciju DM

4.2. Algoritam za treniranje modela učenja potkrepljivanjem

Tokom treniranja agenta izvrši se N epizoda, a svaka epizoda sastoji se od predefinisano broja koraka T . Raznolikost scenarija prilikom treninga postiže se dodavanjem šuma na dnevne dijagrame opterećenja. Korišćeno je linearno opadanje metaparametra ϵ do $0.8 \cdot N$ –te epizode, a nakon toga, do kraja treninga, konstantna vrednost. Detaljan prikaz algoritma nalazi se na slici 4.2.1.

Algoritam: Treniranje duboke Q mreže

```

Inicijalizovati parametre duboke Q mreže  $Q(s | \theta^Q)$  nasumično
Inicijalizovati parametre ciljne duboke Q mreže  $Q'(s | \theta^{Q_{target}})$  koristeći
parametre originalne mreže
Inicijalizovati memoriju interakcija
for epizoda = 1, 2, ..., N do
    Nasumično uzeti uzorak dnevnih krivih opterećenja
    Inicijalizovati  $\epsilon$ 
    Inicijalizovati podskup dostupnih akcija na skup akcija
    Izvršiti inicijalni proračun tokova snaga
    Poslati inicijalno stanje  $s_1$  agentu
    for  $t = 1, 2, \dots, T$  do
        rand = nasumičan broj između 0 i 1
        if rand >  $\epsilon$  then
            Izabrati akciju  $a$  sa najvećom Q-vrednošću iz podskupa
            dostupnih akcija
        else
            Izabrati akciju  $a$  nasumično iz podskupa dostupnih akcija
        end
        Ažurirati podskup dostupnih akcija
        Ažurirati konfiguraciju mreže prema  $a_t$ 
        Izvršiti proračun tokova snaga
        Sačuvati neposrednu nagradu  $r_t$  i podatke za naredno stanje  $s_{t+1}$ 
        Skladištiti skup  $(s_t, a_t, r_t, s_{t+1})$  u memoriju interakcija
        Uzeti uzorak skupa za obučavanje (minibatch) iz memorije
        interakcija
        Kreirati oznake (labele) za trening duboke Q mreže
        Ažurirati parametre duboke Q mreže minimizirajući funkciju
        greške
        Postaviti opterećenja za sledeći vremenski trenutak za svaki čvor
    end
    if ažurirati period proračunavanja parametara ciljne mreže then
         $\theta^{Q_{target}} = \theta^Q$ 
        Ažurirati  $\epsilon$ 
    end
end

```

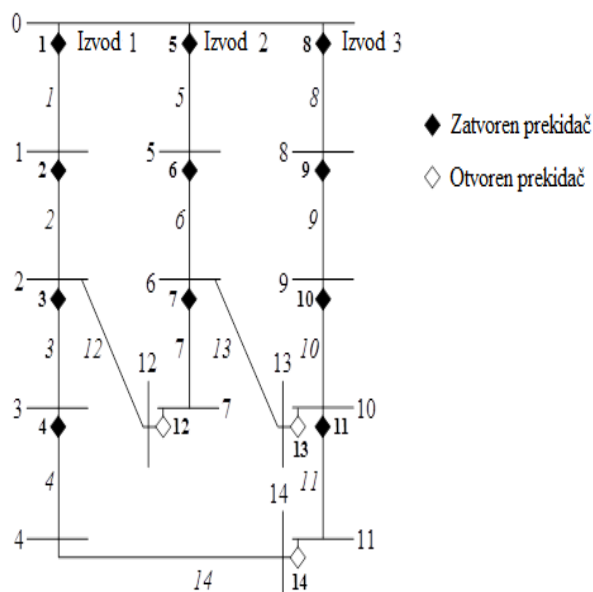
Slika 4.2.1. Algoritam za treniranje modela učenja potkrepljivanjem

5. VERIFIKACIJA MATEMATIČKOG MODELA OPTIMALNE REKONFIGURACIJE PRIMENOM ALGORITMA UČENJA POTKREPLJIVANJEM

U ovoj glavi prikazani su rezultati proračuna za test mrežu od 15 čvorova [4] kao i izbor metaparametara neuronske mreže i algoritma učenja potkrepljivanjem. Algoritam je napisan u programskom jeziku Python, duboka neuronska mreža modelovana je i trenirana korišćenjem programskog okvira za duboko učenje = PyTorch, dok je test mreža modelovana korišćenjem softvera za simulaciju elektrodistributivnih sistema = OpenDSSDirect [8], gde su vršeni i proračuni tokova snaga. Algoritam je izvršavan na 64-bitnom računaru sa operativnim sistemom Windows 10 i sledećom hardverskom konfiguracijom: AMD A8-6410 APU sa AMD Radeon R5 Graphics 2.00 GHz, 4 jezgra i 8GB RAM-a.

Test mreža

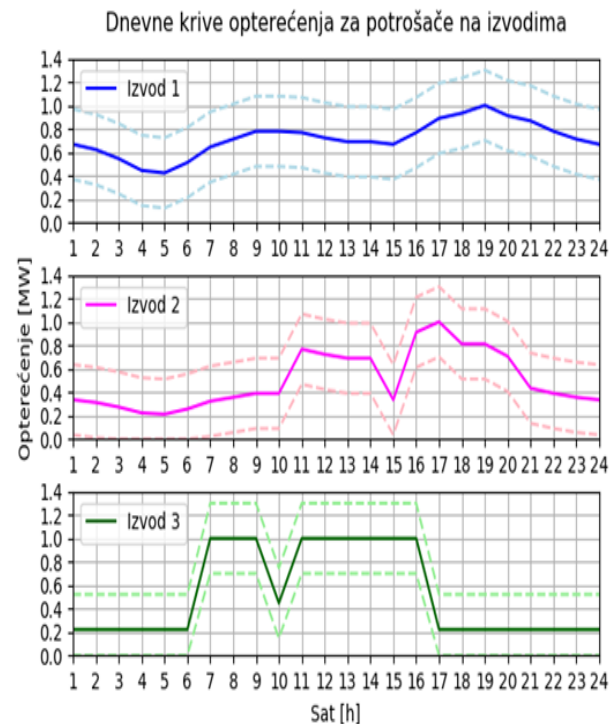
Slika 5.1 ilustruje test mrežu od 15 čvorova, gde je koren mreže označen sa 0, a preostalih 14 čvorova su tipa PQ. Potrošnje su definisane dnevnim hronološkim dijagramima opterećenja, slika 5.2, i maksimalnim opterećenjem (1MVA). Dužina svih grana je ista i iznosi 4.5 km. Sve grane su uravnotežene sa impedansom direktnog redosleda $r + jx = (0.224 + j0.109) \Omega/\text{km}$. Svaka grana poseduje po jedan prekidač, pri čemu je početno uklopno stanje prikazano na slici 5.1.



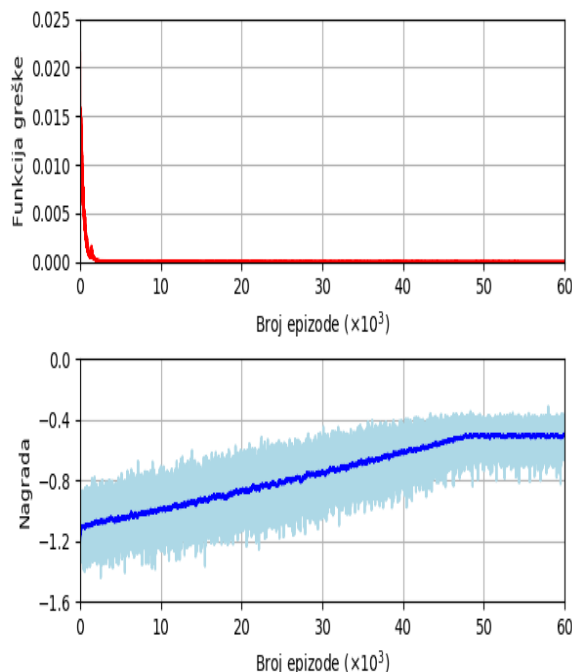
Slika 5.1. Jednopolna šema test mreže od 15 čvorova [4]

Algoritam je treniran kroz 60000 epizoda. Treniranje sa većim brojem epizoda od navedenog dalo je identične rezultate. Jedna epizoda sastoji se iz 24 vremenska koraka, a jedan korak definisan je uklopnim stanjem, odnosno normalno otvorenim prekidačima. Tokom treninga, opterećenja za svaki sat slučajno su birana iz intervala prikazanih na izlomljenim krivim na slici 5.2. Ciljna DQN ažurirana je na svakih 10 epizoda, a skupovi za obučavanje za DQN trening birani su iz memorije interakcija koja ima kapacitet od 1000000 uzoraka. Početna vrednost metaparametra ϵ je 1 i opada linearno do vrednosti 0.1 u 48000. epizodi, a zatim je konstantna do kraja treninga. Ovim načinom opadanja metaparametra ϵ ostvaruje se dobar balans između istraživanja okruženja

i iskorišćavanja naučenog tokom treninga pri biranju akcija. Vrednost metaparametra umanjenja γ iznosi 0.99. Slika 5.3 prikazuje prosečnu vrednost funkcije greške po epizodi. Kako trening odmiče, DQN greška se smanjuje, što implicira da je Q-funkcija uspešno aproksimirana. Dodatno, neposredne nagrade po epizodi i njihova srednja vrednost prikazani su na slici 5.3. Približno linearno povećanje usrednjene neposredne nagrade posledica je linearnog smanjenja metaparametra ϵ do 48000. epizode, iz razloga što se povećava verovatnoća izvršenja akcije predložene od DQN umesto biranja slučajne akcije.



Slika 5.2. Dnevni dijagrami opterećenja potrošača na izvodima 1, 2, 3



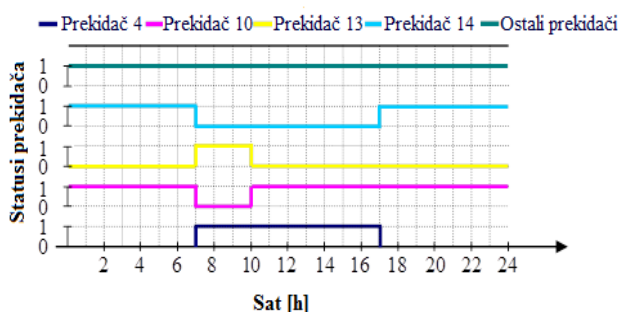
Slika 5.3. Prosečni gubici DQN po epizodi (gore) i ukupna nagrada po epizodi (dole)

U Tabeli 5.1 prikazani su ukupni gubici u kW, broj manipulacija prekidačima i ukupna cena u \$ za predloženi pristup dinamičkoj rekonfiguraciji, metod iz rada [9] i kad se ne vrše manipulacije prekidačima.

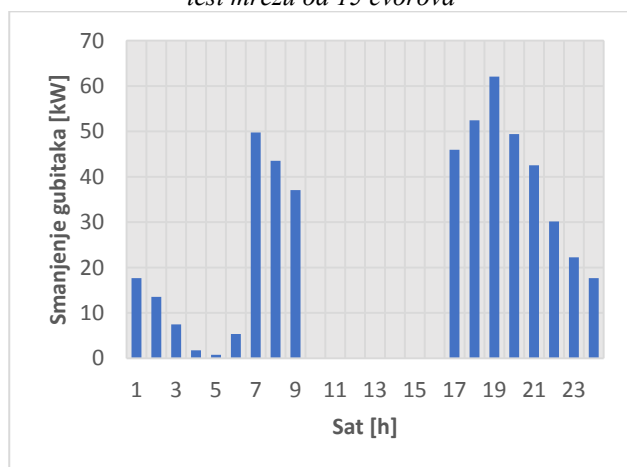
Tabela 5.1. Ukupni gubici, broj manipulacija prekidačima i ukupna cena za 24-časovni period optimizacije test mreže od 15 čvorova

	Predloženi pristup	Metod iz rada [9]	Bez manipulacija
Ukupni gubici [kW]	5978.48	5967.56	6477.81
Broj manipulacija prekidačima	10	22	0
Ukupna cena [\$]	402.3	413.6	425.1

Na osnovu Tabele 5.1 može se zaključiti da predloženi pristup dinamičkoj rekonfiguraciji daje bolje rešenje nego metod iz rada [9]. Takođe, predloženi pristup ima nešto malo veće ukupne gubitke aktivne snage, ali zato ima znatno manje manipulacija prekidačima i manje ukupne troškove. Trajanje izvršenja programa kada je algoritam istreniran iznosi 0.148s. Grafički prikaz manipulacija prekidačima prikazan je na slici 5.4, a smanjenje gubitaka aktivne snage tokom 24 časa, u odnosu na gubitke aktivne snage kad se ne vrše manipulacije prekidačima, prikazano je na slici 5.5.



Slika 5.4. Menjanje statusa prekidača tokom 24 časa za test mrežu od 15 čvorova



Slika 5.5. Smanjenje gubitaka aktivne snage korišćenjem dinamičke rekonfiguracije uz pomoć učenja potkrepljivanjem

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatran je problem dinamičke rekonfiguracije distributivne mreže sa višekriterijumskom

funkcijom cilja čiji je cilj minimizacija ukupnih troškova usled gubitaka aktivne snage i prekidačkih manipulacija. U radu je izložena dinamička rekonfiguracija uz pomoć učenja potkrepljivanjem.

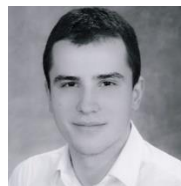
Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti:

1. algoritam učenja potkrepljivanjem se brzo izvršava
2. prikazani algoritam ima znatno manje manipulacija prekidačima nego algoritam baziran na statičkoj rekonfiguraciji [9]
3. ukupni troškovi usled gubitaka aktivne snage i prekidačkih manipulacija manji su nego u slučaju statičke rekonfiguracije

7. LITERATURA

- [1] G.Švenda: Specijalizovani softveri u elektroenergetici, skripta sa predavanja iz istoimenog predmeta na master studijama, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2019.
- [2] Taleski R, Rajcic D. Distribution network reconfiguration for energy loss reduction. IEEE Transactions on Power Systems 1997; 1:398–406.
- [3] V.Fathi, H.Seyedi, B.M.Ivatloo: Reconfiguration of distribution systems in the presence of distributed generation considering protective constraints and uncertainties; Int. Trans Electr Eng Systems; February 2020;pp. 1-25; DOI: 10.1002/2050-7038.12346
- [4] Kovački NV, Vidović PM, Sarić AT. Scalable algorithm for the dynamic reconfiguration of the distribution network using the Lagrange relaxation approach. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2018; 94:188–202.
- [5] Sutton RS, Barto AG. Reinforcement learning: An introduction. MIT press, 2018.
- [6] <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/deep-learning-agent> 10.09.2020.
- [7] Nikolić M, Zečević A. Mašinsko učenje, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2019.
- [8] R. Dugan and T. McDermott. An open source platform for collaborating on smart grid research. Power and Energy Society General Meeting 2011 IEEE 2011; 1–7.
- [9] Ramos ER, Exposito AG, Santos JR, Iborra FL. Path-based distribution network modeling: application to reconfiguration for loss reduction. IEEE Transactions on Power Systems 2005; 2:556–564.

Kratka biografija



Milan Petković rođen je u Novom Sadu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio je 2020. godine.



Predrag Vidović rođen u Vlasenici, 1981. god. Diplomirao je, magistrirao i doktorirao na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi 2005, 2008. i 2015. godine, respektivno.

RAZVOJ APLIKACIJE ZA PROCENU PRISUSTVA COVID-19 IZ RENDGENSKIH SLIKA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA**DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR ESTIMATING THE PRESENCE OF COVID-19 FROM X-RAY IMAGES USING MACHINE LEARNING**Ivana Stojanović, Željen Trpovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je dat opis osnovnih funkcionalnosti biblioteka i alata, kojim omogućavaju primenu mašinskog učenja u iOS mobilnim aplikacijama, kao i teorijske osnove mašinskog učenja. Kreirana je iOS mobilna aplikacija u kojoj je primenjen model mašinskog učenja, koji detektuje prisustvo COVID-19 bolesti na osnovu rendgenskog snimka pluća.

Ključne reči: iOS programiranje, mašinsko učenje, rendgenski snimci, COVID-19

Abstract – In this paper, main functionalities of frameworks and tools for using machine learning in iOS mobile applications, as well as theoretical basis of machine learning are described. iOS mobile application is created, in which model of machine learning is used for detecting COVID-19 disease using X-ray images.

Keywords: iOS programming, machine learning, X-rays, COVID-19

1. UVOD

Novi korona virus, koji se prvi put pojavio u Kini u decembru 2019. godine, brzo se proširio na čitav svet i pokrenuo pandemiju. Velika brzina širenja virusa stvorila je ogroman pritisak na zdravstvene sisteme i zdravstvene radnike u čitavom svetu.

Kako bi se sprečilo dalje širenje virusa, potrebno je što pre detektovati pozitivne slučajeve i izolovati ih. Međutim, mali broj dostupnih RT-PCR testova, kao i veliki procenat lažno negativnih rezultata ovih testova, uslovio potrebu za dodatnim alatima i metodama za dijagnostikovanje nove COVID-19 bolesti.

Proteklih godina, u medicini se sve više primenjuju algoritmi mašinskog učenja za automatsko detektovanje bolesti. Duboko učenje (engl. *Deep learning*), omogućilo je razvoj velikog broja alata, koji pomažu pri dijagnostikovanju bolesti kao što su aritmija, rak dojki, rak kože, pneumonia i mnoge druge bolesti [1].

U ovom radu biće predstavljena iOS mobilna aplikacija u kojoj je primenjen model mašinskog učenja. Aplikacija detektuje prisustvo novog korona virusa na osnovu rendgenskog snimka pluća.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željen Trpovski, vanr. prof.

Primenjeni model jeste klasifikator slike, koji će biti kreiran uz pomoć CreateML aplikacije. CreateML biblioteka i aplikacija omogućavaju kreiranje modela primenom transfer učenja. Transfer učenja (engl. *Transfer learning*) jeste novi pristup, gde se već obučena neuralna mreža prilagođava novom problemu obučavajući samo par poslednjih slojeva neuralne mreže. Ovaj pristup primenjuje se zbog nedostatka velikog broja dostupnih rendgenskih snimaka pluća osoba obolelih od COVID-19. Kreirani model će biti primenjen u aplikaciji pomoću CoreML i Vision biblioteka.

2. BAZA PODATAKA

Prvi korak pri kreiranju modela mašinskog učenja jeste prikupljanje podataka. Ovaj proces često je jedan od najzahtevnijih i najskupljih u razvoju sistema. Upravo zato što je COVID-19 nova bolest, kao i zbog poverljivosti medicinskih podataka, trenutno nisu na raspolaganju velike baze podataka.

Baza podataka korišćena u ovom radu nastala je spajanjem dve baze [2], [3]. Novonastala baza sadrži 540 rendgenskih snimaka pluća, od kojih je 270 snimaka zdravih pluća i 270 snimaka pluća osoba zaraženih novim korona virusom.

Baza je organizovana u tri foldera, Train, Validation i Test, gde svaki od njih sadrži podfoldere koji predstavljaju klase (Healthy i Covid19). Za validaciju izdvojeno je 10 % uzoraka iz svake klase, dok je za test skup izdvojeno 15 % uzoraka i preostali uzorci predstavljaju trening skup. Pored malog broja uzoraka, nedostatak ove baze jeste nepostojanje informacija u kojoj fazi razvoja bolesti su nastali rendgenski snimci.

3. OSNOVE MAŠINSKOG UČENJA

Proteklih decenija, mašinsko učenje postalo je jedno od glavnih osnova informacionih tehnologija. Nove tehnologije omogućile su generisanje velikih količina podataka, koje je potrebno na pametne načine obraditi i iz njih izvući relevantne podatke i zaključke.

Mašinsko učenje jeste oblast veštačke inteligencije (engl. *Artificial intelligence - AI*), koja sistemima pruža mogućnost da automatski uče i iz iskustva sebe unapređuju [4]. Ovo učenje fokusira se na stvaranje kompjuterskih programa, koji pristupaju podacima, sami uče iz njih, pronalazeći odgovarajuće obrasce u podacima.

3.1. Duboko učenje

Duboko učenje (engl. *Deep Learning*) jeste podoblast mašinskog učenja, koja je bazirana na veštačkim

neuralnim mrežama. Kod ovog učenja koriste se neuralne mreže sa velikim brojem kompleksnih slojeva, koji omogućavaju izvlačenje relevantnih informacija iz podataka. Cilj dubokog učenja jeste konverzija ulaznih podataka u njihovu apstraktnu reprezentaciju, koja se zatim primenjuje za klasifikaciju [5].

Neuralne mreže predstavljaju jedan od algoritama mašinskog učenja. Arhitektura neuralne mreže se sastoji od ulaznog, skrivenog i izlaznog sloja. Ulazni sloj prima podatke iz spoljašnje sredine (ulazna obeležja), dok je ulaz svakog narednog sloja izlaz prethodnog, a poslednji sloj daje izlaz sistema, odnosno labelu klase. Broj skrivenih slojeva predstavlja dubinu mreže i mreže sa više skrivenih slojeva nazivaju se duboke neuralne mreže.

Konvolucijske neuralne mreže (engl. *Convolutional Neural Networks - CNNs*) predstavljaju duboke neuralne mreže, koje u svojoj arhitekturi poseduju konvolucijske i slojeve sažimanja. Konvolucijske mreže sadrže jedan ili više konvolucijskih slojeva na koje se nastavljaju jedan ili više slojeva sažimanja, a zatim se na njih nadovezuju potpuno povezani slojevi. Ovakva arhitektura dizajnirana je tako da iskoristi dvodimenzionu strukturu slike [6]. Ove mreže se široko primenjuju u oblasti kompjuterske vizije i prepoznavanja prirodnog govora.

3.3. Transfer učenja

Obuka dubokih neuralnih mreža zahteva dosta vremena i hardverskih resursa. Pored toga, mreže imaju veliki broj parametara, za čiju je obuku neophodna velika količina podataka. Proces prikupljanja i označavanja podataka je skup i dugotrajan proces. Pristup nazvan transfer učenja omogućava prevazilaženje ovih problema. Kod transfera učenja prethodno obučeni model, kreiran za rešavanje jednog problema, se koristi kao početna tačka za rešavanje novog problema.

Cilj transfera učenja jeste prenošenje znanja iz izvornog domena D_s (engl. *source domain*) u ciljni domen D_t (engl. *target domain*), pri čemu se zadaci učenja T mogu, ali i ne moraju podudarati [7].

4. PRIMENA MAŠINSKOG UČENJA U IOS MOBILNIM APLIKACIJAMA

Jedna od oblasti u kojoj je mašinsko učenje pronašlo primenu jeste razvoj mobilnih aplikacija. Mobilni telefoni sadrže setove ugrađenih senzora, koji generišu podatke i na taj način otvaraju vrata ka novim istraživanjima i vode ka razvoju senzorskih aplikacija.

Oblast razvoja mobilnih aplikacija i oblast mašinskog učenja, u teoriji se veoma razlikuju. Veštine i znanje potrebno za razumevanje algoritama mašinskog učenja drugačije je od veština i znanja potrebnog za razvoj mobilnih aplikacija [8]. U proteklih par godina, počeo je razvoj novih alata i biblioteka, koje olakšavaju primenu mašinskog učenja u mobilnim aplikacijama. Ovi alati i biblioteke se neprestano usavršavaju i razvijaju.

Na tržištu mobilnih telefona skoro u potpunosti dominiraju iOS i Android uređaji. Ovaj rad baviće se primenom mašinskog učenja u iOS aplikacijama. iOS jeste operativni sistem mobilnih telefona, koji je kreirala i razvila kompanija Apple specijalno za njihov hardver.

4.1. Biblioteke i alati

Apple je razvio nekoliko biblioteka za mašinsko učenje kako bi programeri lakše implementirali algoritme u svoje aplikacije. Najpopularnije biblioteke su CoreML, CreateML, TuriCreate, CoreML Community Tools i biblioteke razvijene za specifične oblasti kao što je kompjuterska vizija, govor, prirodni jezik i druge oblasti.

CoreML

CoreML jeste biblioteka, koja omogućava primenu modela mašinskog učenja u iOS mobilnim aplikacijama. Ova biblioteka je zadužena za učitavanje modela i kreiranje interfejsa ka modelu, pružajući standardizovani način za dopremanje modela ulaznim podacima i prikaz izlaznih podataka modela, kao i mogućnost obuke modela na uređaju [9].

Ova biblioteka prvi put je predstavljena sa iOS 11 u septembru 2017. godine. Napisana je u Swift programskom jeziku. Koristi se kao osnova za biblioteke, koje su kreirane za specifične oblasti kao što je Vision, Speech i slične biblioteke, dok je sama zasnovana na Accelerate, BNNS i Metal Performance Shaders bibliotekama.

Generalni pristup mašinskom učenju na Apple platformama sa CoreML bibliotekom je uvek isti i sastoji se iz sledećih koraka [24]:

1. Dodavanje modela u projekat
2. Učitavanje modela u aplikaciji
3. Dopremanje modela odgovarajućim ulaznim podacima, kako bi se izvršila predikcija
4. Korišćenje predikcije, odnosno izlaza modela, u aplikaciji

CoreML podržava veliki broj modela mašinskog učenja, kao što su neuralne mreže, klasifikator na bazi vektora nosača, generalizovane linearne klasifikatore i druge [10]. Modele koje programer želi da koristi sa CoreML, nakon obuke moraju biti u MLmodel formatu i upakovani u fajl sa ekstenzijom *.mlmodel*. Ovaj fajl obuhvata metode za predikciju, opis i konfiguraciju modela.

CreateML

Godinu dana nakon predavljanja CoreML biblioteke, predstavljena je i CreateML biblioteka, koja omogućava kreiranje modela. CreateML je takođe biblioteka napisana u Swift programskom jeziku. Primarno postoji na macOS operativnom sistemu. Pored biblioteke, takođe je razvijena i CreateML aplikacija. Ovu aplikaciju Apple je uveo kao deo seta alata za razvoj softvera na macOS sistemima i zapravo je ugrađena u Xcode radno okruženje.

CreateML aplikacija omogućava kreiranje modela u grafičkom okruženju, koji koristi isti podsistem kao i CreateML biblioteka. Aplikacija olakšava proces obuke i primenjuje transfer učenja, gde već postojeće znanje prilagođava novim problemima. Prednost primene transfer učenja jeste što je veličina dobijenih modela svega nekoliko KB.

Biblioteka i aplikacija podržavaju treniranje sledećih tipova modela [9]: klasifikator slike, zvuka, aktivnosti, teksta i tabeliranih podataka, detekcija objekata, označavanje reči i regresija tabeliranih podataka.

Aplikacija pruža informacije o sledećim merama evaluacije: tačnost, preciznost i odziv. Ukoliko mere evaluacije zadovoljavaju zadate kriterijume, model se može eksportovati. Eksportovani model je u *.mlmodel* formatu tako da se bez dodatnih konverzija može implementirati u iOS aplikaciji pomoću CoreML biblioteke.

Vision

Vision jeste *Apple* biblioteka, koja se koristi za primenu algoritama kompjuterske vizije za rešavanje različitih problema nad slikama i video zapisima [11]. Kao i CoreML, Vision je predstavljena sa iOS 11.

Primenom ove biblioteke može se vršiti [11]: detekcija lica, znamenitosti i teksta, prepoznavanje bar kodova, registrovanje slika, praćenje objekata.

Rad sa slikama je znatno olakšan time što biblioteka automatski prilagođava dimenzije slika, vrši odsecanja i rotacije. Pored toga, omogućava upotrebu CoreML modela, koji se primenjuju za klasifikaciju ili detekciju objekata, a čiji su ulazni podaci slike ili video zapisi.

5. APLIKACIJA ZA DETEKCIJU COVID-19

Kreirana aplikacija nosi naziv *COVID-19 Detection Assistant*. Aplikacija je razvijena u Xcode radnom okruženju i pisana je u Swift programskom jeziku. Za kreiranje korisničkog interfejsa (engl. *User Interface- UI*) korišćena je UIKit biblioteka.

COVID-19 Detection Assistant jeste jednostavna i intuitivna aplikacija. Pri ulazu u aplikaciju prikazuje se ekran nazvan *MainViewController*, čiji je izgled prikazan na slici 1.

Ekran sadrži poruku informativnog tipa i dugme *Scan X-ray*. Prilikom klika na dugme korisniku se pruža mogućnost da odabere da li želi sliku iz galerije ili želi da koristi kameru kako bi kreirao novu sliku.

Nakon odabira slike iz galerije ili kreiranja nove slike, u zavisnosti od prethodnog odabira korisnika, vrši se predikcija nad izabranom slikom. Rezultati predikcije su zatim prikazani korisniku (slika 2).

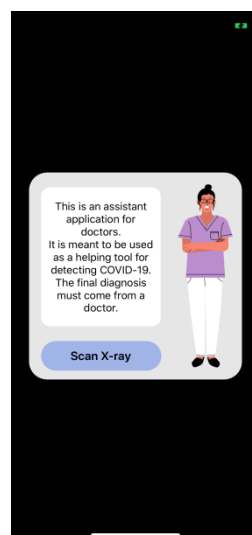
Korisniku se pruža mogućnost da ponovo izabere novu sliku pritiskom na dugme *Scan again*.

5.1. Kreiranje modela

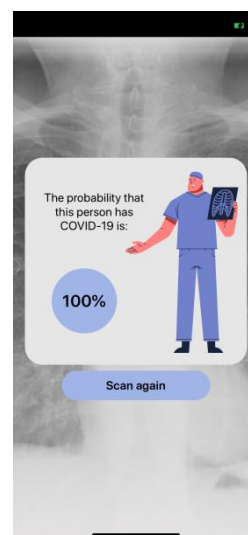
Klasifikacija slika je jedan od osnovnih i najznačajnijih zadataka iz oblasti kompjuterske vizije.

Naprednije primene kompjuterske vizije, kao što je detektovanje objekata, prenosa stilova (engl. *style transfer*) i kreiranje novih slika, nadovezuju se na principe klasifikacije slike.

Klasifikatori se mogu kreirati na više načina, ali najpopularniji pristup, koji pruža najbolje modele jeste primena dubokih neuralnih mreža.



Slika 1. Izgled početnog ekrana



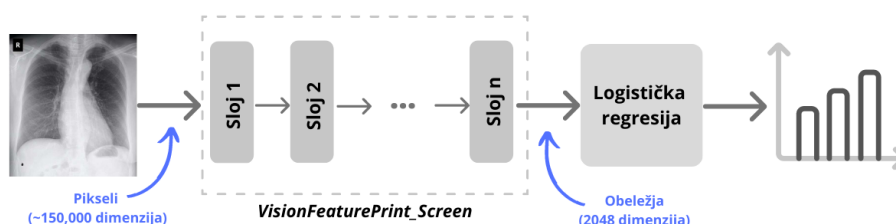
Slika 2. Prikaz rezultata predikcije

Za kreiranje modela korišćena je CreateML aplikacija. CreateML primenjuje transfer učenja, gde se već obučeni bazni model prilagođava za rešavanje novog problema. Kako se kreira klasifikator slike, aplikacija za bazni model koristi *VisionFeaturePrint_Screen* model. Trenutno aplikacija ne dozvoljava izbor baznog modela, već se za klasifikaciju slika uvek koristi navedeni model. Model je deo iOS 12 i Vision biblioteke, tako da kreirani modeli imaju veličinu od samo nekoliko kilobajta umesto nekoliko megabajta, jer model ne mora da sadrži i bazni model [12].

VisionFeaturePrint_Screen model jeste konvolucijska neuralna mreža obučena na veoma velikoj bazi podataka, koja sadrži milione slika, i vrši klasifikaciju slika u veliki broj klasa. Ova konvolucijska neuralna mreža obučena je da izvlači obeležja iz slika i da na osnovu različitih kombinacija obeležja ima mogućnost da izvrši klasifikaciju za veliki broj klasa [12]. Informacije o samoj arhitekturi mreže *Apple* nije otkrio.

Za kreiranje novih modela, primenjuje se prvi princip transfer učenja, gde se samo zadnji slojevi obučene mreže prilagođavaju za klasifikaciju. *VisionFeaturePrint_Screen* se koristi za izvlačenje obeležja iz ulaznih slika, poput linija, oblika, boja i drugih obeležja. Izlaz konvolucijske mreže jeste 2048 obeležja izvučenih iz svake ulazne slike. Ova obeležja predstavljaju apstraktnu reprezentaciju ulazne slike.

Kako bi se sama klasifikacija izvršila, izlazna obeležja se dopremaju na ulaz modela logističke regresije, koji se obučava za klasifikaciju u klase novog problema. Izlaz logističke regresije jeste labela klase, ali i verovatnoća pripadnosti uzorka određenoj klasi. Proces obuke klasifikatora slike iz rada prikazan je na slici 3.



Slika 1. Proces obuke klasifikatora slike

Model kreiran u ovom radu nazvan je *Covid19OrHealthModel*. Pri kreiranju projekta za tip modela odabran je klasifikator slike i dodati su trening, validacioni i test skup podataka. Organizacija baze podataka opisana u poglavlju 2. bila je neophodna zbog dodavanja podataka u projekat. Aplikacija sama detektuje broj klasa i broj uzoraka u svakom skupu. Nakon toga je pokrenuto treniranje modela. Model je završio obuku za samo 59 sekundi. Ovo je upravo jedna od prednosti, koju donosi transfer učenja. Takođe, veličina modela iznosi svega 17 KB. Kako mobilni telefoni imaju ograničenu memoriju, veličina modela je od značaja i cilj je kreirati što manji model, a da se ne izgubi na performansama.

Tačnost modela prilikom obuke iznosila je 100%, a prilikom validacije i testiranja 98%. Dobijene mere evalucacije na test skupu prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Mere evalucacije na test skupu

Klasa	Preciznost	Odziv
Covid19	95%	100%
Healthy	100%	95%

Iz dobijenih rezultata se može videti da iako je na raspolaganju bio manji broj uzoraka, mreža je bila u mogućnosti da se obuči i proizvede zadovoljavajuću tačnost. Kako su dobijeni rezultati zadovoljavajući, nije bilo potrebe za izmenama i ponovnom obukom mreže, te je model sačuvan, eksportovan i primenjen u aplikaciji.

Kao što je već opisano ranije, za primenu kreiranog modela mašinskog učenja u aplikaciji korišćena je CoreML biblioteka.

6. ZAKLJUČAK

Pandemija nastala širenjem novog korona virusa, uslovlila je povećanu potrebu za dodatnim dijagnostičkim alatima, koji će pomoći pri detektovanju nove bolesti. U ovom radu kreirana je iOS mobilna aplikacija, *COVID-19 Detection Assistant*, koja je nastala sa motivacijom da posluži kao dostupan pomoćni dijagnostički alat, koji može pomoći pri otkrivanju COVID-19 bolest koristeći rendgenske snimke.

Rad daje uvid u osnovne funkcionalnosti biblioteka i alata, koji omogućavaju primenu mašinskog učenja u iOS mobilnim aplikacijama, kao i teorijske osnove oblasti i algoritama mašinskog učenja, poput dubokog učenja, konvolucijskih neuralnih mreža, radi boljeg razumevanja primenjenih alata i biblioteka.

Kreirana aplikacija pruža mogućnost odabira slike iz galerije ili korišćenje kamere za kreiranje slike, nad kojom se izvrši klasifikacija. Primenu modela za klasifikaciju i rad sa slikama omogućile su CoreML i Vision biblioteke.

Model mašinskog učenja iz rada obučen je pomoću Apple-ove aplikacije CreateML. Transfer učenja, pristup koji primenjuje ova aplikacija omogućio je obuku modela nad malom bazom podataka, značajno ubrzao proces obuke i sama veličina dobijenog modela je svega 17 KB. Dobijeni model jeste konvolucijska neuralna mreža, čija tačnost iznosi 98%.

Iako je dobijeni model pokazao izuzetnu tačnost, i dalje se jako malo zna o novom virusu i njegovim simptomima, te se ne može sa sigurnošću tvrditi da model dobro radi. Međutim, nema sumnje da će u bližjoj budućnosti doći do novih istraživanja i novih otkrića kombinovanjem ovih istraživačkih oblasti.

7. LITERATURA

- [1] Tulin Ozturk a, Muhammed Talo b, Eylul Azra Yildirim, *Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images*, Computers in Biology and Medicine
- [2] <https://github.com/ieee8023/covid-chestxray-dataset>
- [3] <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>
- [4] <https://expertsystem.com/machine-learning-definition/>
- [5] Mars Geldard, Jonathon Manning, Paris Butfield-Addison, Tim Nugent, *Practical Artificial Intelligence with Swift From Fundamental Theory to Development of AI Driven Apps*
- [6] Nenad Živić, *Učenje vektorske reprezentacije reči govornog jezika primenom dubokih neuronskih mreža*, Prirodno matematički fakultet, Univerzitet u Nišu, 2015
- [7] Marko M. Dabović, Igor I. Tartalja, *Duboke konvolucijske neuronske mreže– koncepti i aktuelna istraživanja*, Zbornik 61. Konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku, ETRAN 2017
- [8] <https://heartbeat.fritz.ai/machine-learning-on-mobile-what-can-you-actually-do-with-it-8437fa782165>
- [9] Mars Geldard, Jonathon Manning, Paris Butfield-Addison, Tim Nugent, *Practical Artificial Intelligence with Swift From Fundamental Theory to Development of AI Driven Apps*
- [10] <https://developer.apple.com/documentation/coreml>
- [11] <https://developer.apple.com/documentation/vision>
- [12] Matthijs Hollemans, Chris LaPollo and Audrey Tam, *Machine Learning by Tutorials*, Razeware LLC, 2018

Kratka biografija:



Ivana Stojanović rođena je u Petrovcu na Mlavi 1995. god. Osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka završila je 2018. god. Master studije iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Telekomunikacioni sistemi upisala je školske 2018/2019, a master rad odbranila 2020. godine.

kontakt: ivanastojanovic95@gmail.com



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

Zahvalnica:

Izradu ovog rada pomogao je Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru projekta pod nazivom: "Istraživanja u oblasti energetike, elektronike, telekomunikacija i primenjenih informacionih sistema u cilju modernizacije studijskih programa".

РЕВИЗИЈА БИБЛИОТЕЧКОГ ФОНДА УЗ ПОДРШКУ *FLUTTER* РАДНОГ ОКВИРА LIBRARY COLLECTION REVISION AND FLUTTER FRAMEWORK

Дара Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – СОФТВЕРСКО ИНЖЕЊЕРСТВО И ИНФОРМАЦИОНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Кратак садржај – Овим радом представљена је имплементација апликације за скенирање бар-кодова за потребе библиотечког фонда. Развијена је за мобилне платформе, за Android и IOS уређаје. Писана је у Dart програмском језику уз подршку Flutter развојног окружења. Подржава скенирање Ean-13 code и Code-128 формата, за добијање информација о књизи, и слање сесије кодова ка серверу у сврхе вођења евиденције о књигама. Апликација омогућује пријаву корисника како би комуникација апликације са сервером била ауторизована.

Кључне речи: Flutter, Dart, Bloc, Cubit, State, Android, IOS, библиотечки фонд

Abstract – The thesis deals with the implementation of a library fund. It's developed for Android and IOS devices. It is written in Dart language with usage of Flutter UI toolkit. It supports bar-code scanning of Ean-13 and Code-128 type, for purposes of sending codes to server for evidence and getting informations about book. Application allows user to sign in so the communication with server would be authorized.

Keywords: Flutter, Dart, Bloc, Cubit, State, Android, IOS, library fund

1. УВОД

Најпопуларнија два оперативна система у данашње време су Android [1] и IOS [2]. Ова два оперативна система су доста различита, што отежава развој апликација за дате платформе. Сваки оперативни систем мобилног уређаја има своје алате и подршку за развој мобилних апликација. Користи различите језике у развоју и пружа кориснику јединствен API (Application programming interface), што доводи до потребе да се развој апликације своди на писање више идентичних апликација са различитим изворним кодом. Овакав приступ развоју апликација резултује матичним (native) апликацијама које су поуздане, развијене за специфичан оперативни систем и пружају добре перформансе.

Недостатак native апликација је скуп развој, због чега је дошло до развоја апликација које имају могућност покретања на више различитих платформи. Такав приступ развоју назива се Cross platform [3] развој мобилних апликација.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф др Бранко Милосављевић.

2. CROSS PLATFORM развој мобилних апликација

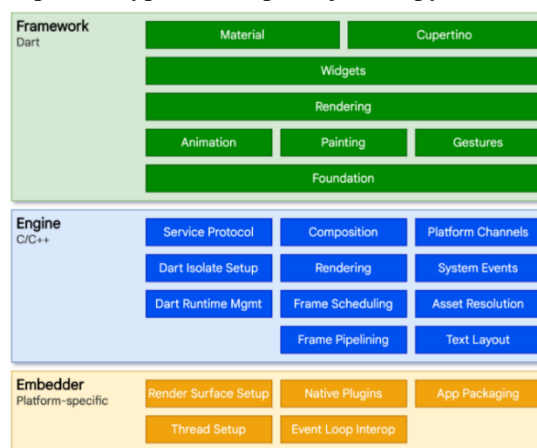
Cross platform приступ развоју мобилних апликација карактерише писање кода у одређеном програмском језику предвиђеног за покретање на више различитих уређаја, независно од оперативног система. Овакав приступ развоја доприноси поновној искористивости кода и бржем развоју апликација уз мање трошкове.

Један од савременијих вишеплатформских развојних окружења је Flutter [4], у ком је развијена апликација која представља предмет рада. Flutter користи сопствени механизам за исцртавање корисничког интерфејса. Има само танак слој C/C++ [5] кода, што га чини другачијим од других радних оквира за имплементацију вишеплатформских мобилних апликација. Већина Flutter система имплементирана је у Dart [6] језику којем програмери могу лако приступити.

3. FLUTTER

Flutter је радни оквир отвореног кода, развијен од стране Google-а 2017. године. Бесплатан је, користи се за развој вишеплатформских апликација. Одличан је за развој интерактивних Web и GUI апликација, али је првенствено оптимизован за развој мобилних апликација за Android и IOS уређаје.

3.1. Архитектура Flutter развојног окружења



Слика 1. Архитектура Flutter развојног окружења[4]

Flutter развојни оквир је вишеслојни, прошириви систем. Представљен је као група међусобно независних библиотека груписаних у три слоја као што је приказано на слици 1.

Улазна тачка архитектуре Flutter-а је крајњи, Embedder слој. Проширив је, написан је у језику који одговара платформи. Комуницира са оперативним системом за приступ његовим основним сервисима

који су неопходни за извршавање апликације на датом уређају. Такође, захваљујући *embedder* слоју, написани код може бити интегрисан у оквиру неке друге апликације као модул, или може представљати апликацију за себе.

Средњи слој архитектуре представља *Flutter engine* који је написан у *C++* језику и обухвата основе компоненте неопходне за подршку компонентама вишег нивоа *Flutter* окружења. Пружа имплементирани основни *API* који укључује *Skia* [7] графичку библиотеку, библиотеку за исцртавање компоненти и регулисање њиховог распореда, архитектуру уградње *plugin-a*, алате за *Dart runtime* компајлирање, и друго.

Слој приступачан програмерима, трећи слој, назива се *Flutter framework*. Написан је у *Dart* језику. Обухвата (одоздо ка горе):

- Основне градивне класе, и класе за помоћ у изградњи, као што су *Animation*, *Painting*, *Gestures*.
- *Rendering* слој - слој за приказ и формирање изгледа. Помоћу класа овог слоја може се креирати стабло елемената за приказ. Елементима се може манипулисати динамички, тако да се прикази аутоматски ажурирају.
- *Widgets* слој – слој композиције. Сваки објекат из слоја *Rendering* има одговарајућу класу у слоју *Widgets*. Овај слој омогућава дефинисање комбинације класа које се могу поново искористити. Ово је слој реактивног програмирања.
- Библиотеке *Material* и *Cupertino* нуде скуп контрола које дозвољавају да се над укомпонованим класама *Widget* слоја примене стилови.

3.2. Widgets

Појам *Widgets* је скуп класа које се користе у изградњи корисничког интерфејса.

Widget-и представљају јединицу композиције у *Flutter*-у, слично компонентама у *React*-у. Основа су за грађење корисничког интерфејса апликације, представљени су као непроменљиве класе које се користе за креирање и конфигурисање стабла објеката. Чине хијерархију засновану на композицији. Угњеждавају се, и као параметар примају контекст свог родитеља. Главни *widget*, тј корен, је контејнер у ком се налази цела апликација, и типично се у те сврхе користе контејнери *MaterialApp* или *CupertinoApp*.

3.2.1. Композиција и грађење widget-a

Widget-и су обично састављени од више мањих, угњеждених класа. Свака од њих има своју намену. Постоје класе које су намењене приказу елемената на екрану, и њиховом исцртавању, док постоје и класе које су намењене само стилизовању, и немају сопствени визуелни приказ. Њихова једина сврха је да контролишу неки аспект изгледа другог *widget-a*.

Приликом угњеждавања, потребно је направити што бољу хијерархију, тако да буде састављена од мањих класа где свака чини једну складну целину.

Основна и обавезна ставка *widget-a* је метода *build*, унутар које се описује изглед. Дизајн функције *build* поједностављује код фокусирајући се на декларисање од чега је *widget* састављен, уместо на сложеност ажурирања корисничког интерфејса и промене стања.

3.2.2. Стање widget-a

Постоје две врсте *widget-a*: *statefull* и *stateless*.

Многи *widget*-и немају променљиво стање, немају својства која се временом мењају - сврставају се у *stateless widget-e*. Међутим, ако јединствене карактеристике *widget-a* треба да се промене на основу интеракције корисника или других фактора, тај *widget* је *statefull*.

Statefull widget-и се дефинишу наслеђивањем класе *StatefullWidget*. Чувају променљиво стање у засебној класи која је типа поткласе *State*, јер су сами непроменљиви (*immutable*). *Statefull widget*-и немају *build* методу. Уместо тога, њихов кориснички интерфејс је изграђен у оквиру *state* објекта.

Постојање одвојеног објекта стања и објекта *widget-a* омогућава да се *stateless* и *statefull widget*-и третирају на исти начин, без бриге о стању. Уместо потребе да се брине о *child* компоненти и њеном стању, родитељска компонента може креирати нову инстанцу *child* компоненте у било које време. Оквир обавља сав посао проналажења и поновне употребе постојећег стања објекта када је то потребно.

Када год се промени стање објекта, мора се позвати метода *setState()* као сигнализација радном оквиру да ажурира кориснички интерфејс поновним позивом *build* методе класе *State*.

3.3. Исцртавање корисничког интерфејса апликације

Исцртавање елемената представља низ корака које *Flutter* предузима да претвори стабло *widget-a* у пикселе насликане на екрану.

Супротно томе, *Flutter* замењује системске *UI* библиотеке својим скупом *widget-a*. *Dart* код који исцртава *Flutter* визуелне елементе компајлиран је у изворни код који користи *Skia* графичку библиотеку за исцртавање елемената. *Flutter* има уграђену своју имплементацију *Skia* библиотеке у оквиру *Engine* слоја, чиме омогућава програмеру да надогради апликацију како би био у току са најновијим побољшањима перформанси.

Током *build* фазе, *Flutter* преводи *widget-e* у одговарајући елемент стабла. Сваки *widget* представља један елемент на одређеној позицији у стаблу. Постоје два основна типа елемената:

- *ComponentElement* тј родитељски *widget*-и,
- *RenderObjectElement*.

Елементу било ког *widget-a* може се приступити преко његовог *BuildContext-a*, који указује на локацију *widget-a* у стаблу. Како су *widget*-и и сам однос родитељ-дете непроменљиви, било која измена над стаблом, па чак и само измена садржаја једноставног *Text widget-a*, ће узроковати креирање новог скупа *widget* објеката који ће бити враћени. Али то не значи да ће главни приказ *widget-a* бити обновљен.

Стабло елемената *widget-a* омогућава *Flutter*-у да се понаша као да је хијерархија *widget-a* у потпуности једнократна.

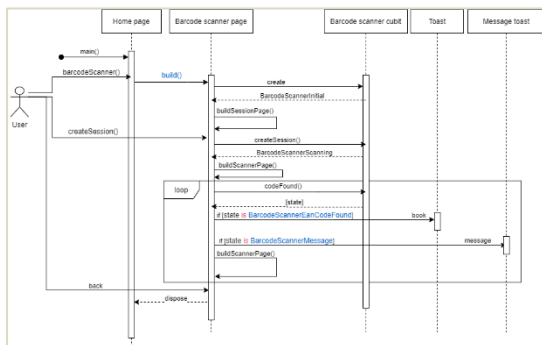
Проласком кроз *widget*-е који су се променили, *Flutter* може обновити само делове основног стабла елемената који захтевају реконфигурацију.

4. СПЕЦИФИКАЦИЈА АПЛИКАЦИЈЕ

Задатак овог рада представља имплементацију библиотечног фонда, апликације за вођење евиденције о књигама, претрагу књига по основу скенирања бар-кода, и приказивања информација о њима.

4.2. Дијаграм секвенце

У наставку текста приказани су и описани дијаграми секвенце којима су представљени: процес скенирања бар-кодова, процес прегледа информација о сесијама и процес прегледа скенираних бар-кодова.



Слика 2. Дијаграм секвенце, скенирање бар-кодова

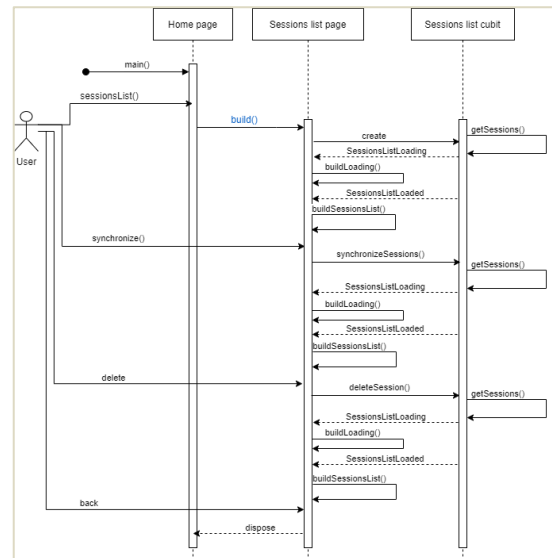
Први дијаграм, приказан на слици 2, представља графички приказ процеса скенирања бар-кодова. Већи део процеса је аутоматизован. Може се уочити да је улога корисника у процесу мала. Комуникација се одвија највећим делом између објеката класе *barcodeScannerPage* и *barcodeScannerCubit*.

Извршавање метода објекта *barcodeScannerPage* класе условљено је повратним вредностима *barcodeScannerCubit* метода.

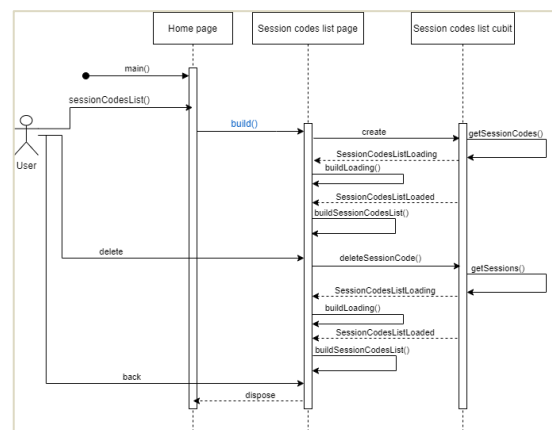
Ток процеса зависи највећим делом од повратних вредности *barcodeScannerCubit* метода. Животни век објекта *barcodeScannerPage* и *barcodeScannerCubit* је исти. На позив *build* методе *barcodeScannerPage* позива и акција *create* над *barcodeScannerCubit* класом. Најдужи животни век има *homePage* објекат, док су објекти *toast* и *messageToast* у потпуности зависни од повратних вредности *cubit* метода.

Као и у случају скенирања бар кодова, и над процесом добављања листе сесија приказаним на слици 3 је примењена логика употребе *cubit* компоненте. Комуникација између објеката се одвија по истом принципу, једина разлика је у стањима која враћа *cubit* објекат, методама које окидају промену стања и методама које се извршавају након промене стања. Корисник има могућност позива синхронизације и брисања сесија, где се након извршавања наведених операција циклус прибављања података о сесијама понавља.

Исти случај је и за трећи дијаграм, дијаграм приказа бар-кодова приказаног на слици 4, где не постоји операција синхронизације, али корисник има могућност брисања кодова, где се циклус учитавања и приказа бар-кодова понавља.



Слика 3. Дијаграм секвенце, приказ листе сесија



Слика 4. Дијаграм секвенце, листа кодова сесије

5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА АПЛИКАЦИЈЕ

5.1. Коришћене технологије

Апликација представља комбинацију *widget*-а дефинисаних у основи *Flutter*-а и неколико самостално дефинисаних за потребе бољег функционисања апликације. Осим предефинисаних *widget*-а, за боље функционисање и раздвајање логичког дела апликације од приказа, примењен је *Bloc pattern* [8] употребом *FlutterBloc* библиотеке. Поред тога, једна од библиотека искоришћена за имплементацију главне функционалности, скенирања бар-кодова, је *qr_mobile_vision*.

5.1.1. Qr mobile vision

Qr mobile vision је библиотека која захтева приступ камери, и комуницира са *Android* и *IOS Api*-јем за потребе читања оквира слика преко камере уређаја, конкретно за препознавање бар-кодова. Укључује *widget* који обавља све потребне трансформације за приказ снимљеног подручја, и тај *widget* се зове *QrCamera*.

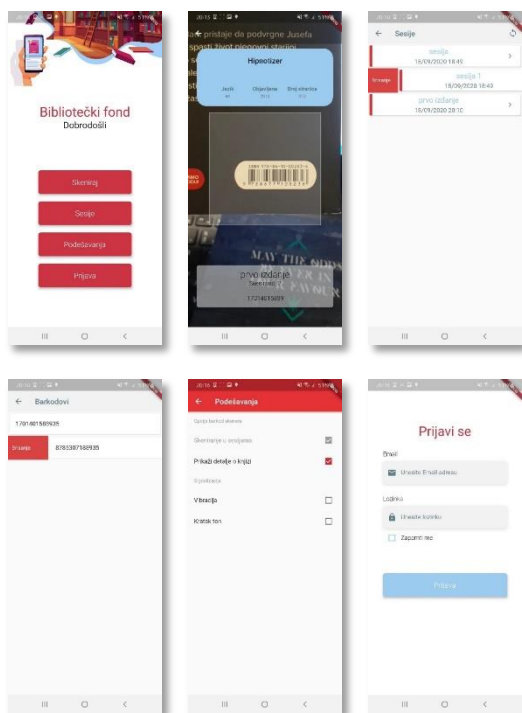
Главни параметар *QrCamera widget*-а јесте *qrCallback* који је обавезан, и мора бити наведен приликом употребе *widget*-а. *qrCallback* је дефинисана метода која се окида сваки пут када камера препозна код одређеног формата на екрану. Кодови које камера треба да подржи такође могу бити дефинисани у

оквиру *formats* параметра, који представља листу енумерација типа `<BarcodeFormat>`.

Поред тога, могу се дефинисати и додатни, опциони параметри. Још један који би било корисно издвојити јесте *notStartedBuilder*, *callback* функција која се изврши пре приказа камере на екрану, тако да се може искористити за приказ, на пример, *CircularProgressIndicator* компоненте, као назнака кориснику да се нешто дешава.

5.2. Преглед екрана апликације

Апликација библиотечки фонд састоји се од следећих екрана приказаних на слици 5: *HomePage*, *LoginPage*, *SettingsPage*, *BarcodeScannerPage*, *SessionsListPage* и *SessionCodesListPage*.



Слика 5. Приказ екрана апликације библиотечки фонд

6. ЗАКЉУЧАК

Целокупна архитектура *Flutter* система имплементирана је тако да се у погледу конструисања и исцртавања елемената апликације служи својим класама, односно *widget*-има. Представља скуп *widget*-а, где сваки има своју сврху и намену. Све компоненте у *Flutter*-у су представљене као *widget*-и, и не представљају обавезни део развојног окружења.

Захваљујући томе, корисник има велику слободу приликом развоја апликација и конструисања корисничког интерфејса. Може правити своје *widget*-е и угњежавати их, или користити их у комбинацији са већ постојећим које је развио *Flutter*. На располагању има велики број развијених библиотека које се могу пронаћи на *pub.dev* сајту.

Има могућност дефинисања стања апликације и *widget*-а, и примене *BLoC pattern*-а у сврхе управљања стањем. Такође, примена *BLoC pattern*-а обезбеђује бољу прегледност апликације, раздвајање логичког дела апликације од приказа и могућност писања тестова.

У погледу развоја библиотечког фонда показао се као добар избор. Пружа велики број *widget*-а за стилизовање и компоновање апликације. Обухвата велики број библиотека, како за развој целокупне апликације, тако и за функционалност скенирања бар-кодова, од којих се *qr_mobile_vision* показала као најбоља у складу са захтева апликације. Омогућава развој апликације уз *hot-reload* функционалност, тако да корисник у тренутку развоја апликације има прегледност конструисаног интерфејса. Пружа подршку развоја у више окружења и лако се инсталира.

Даљи изазов у развоју нових апликација или проширењу библиотечког фонда може представљати писање додатних предефинисаних *widget*-а и конструисање архитектуре уз коришћење више принципа објектно оријентисаног програмирања. Испитати границе и могућности развоја које пружају *Flutter* и *Dart* објектно оријентисани језик.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Android, <https://www.android.com/>
- [2] IOS, <http://www.apple.com/ios>
- [3] Cross platform, https://www.thinkmind.org/articles/soft_v12_n12_2019_3.pdf
- [4] Flutter, <https://flutter.dev/>
- [5] C++, <https://www.cplusplus.com/>
- [6] Dart, <https://dart.dev/>
- [7] Skia, <https://skia.org/>
- [8] BLoC, <https://bloclibrary.dev/#/>

Кратка биографија:



Дара Јовановић, рођена је 26.10.1994. год., у Сремској Митровици. Завршила је основну школу „Анта Богићевић“ у Лозници и Средњу економску школу, такође у Лозници. 2014. године уписала је Факултет техничких наука у Новом Саду, смер Софтверско инжењерство и информационе технологије, дипломирала 2019. године. Исте године уписала је мастер академске студије, одслушала и положила све предмете. Контакт: dara94j@gmail.com.

УТИЦАЈ КОНСТРУКЦИЈЕ РОТОРА НА ПЕРФОРМАНСЕ КАВЕЗНИХ АСИНХРОНИХ МОТОРА**THE INFLUENCE OF ROTOR CONSTRUCTION ON PERFORMANCE OF SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTORS**

Данило Лајшић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду су представљене разлике параметара једнокавезног и двокавезног асинхроног мотора. Обрађен је аналитички прорачун за поменуте типове мотора, као и графички приказ резултата. На основу добијених резултата је извршена упоредна анализа перформанси мотора, како би се представио утицај конструкције ротора на карактеристике, у складу са променом облика жлеба. Представљене су предности и мане два типа ротора, као и њихова примена.

Кључне речи: Једнокавезни и двокавезни асинхрони мотори, конструкција ротора, перформансе мотора

Abstract – This paper presents differences between parameters of single-cage and double-cage rotors of induction motors. Analytical calculations for the mentioned two types of motors were conducted, as well as the graphical representation of obtained results. A comparative analysis of obtained results was performed, in order to present the influence of rotor construction on the performance, in accordance with the change in slots shapes. The advantages and disadvantages of the two types of rotors are presented, as well as their application.

Keywords: Single-cage and double-cage induction motors, rotor construction, motor performance

1. УВОД

Нагли развој и напредак човечанства се заснива на чињеници да је пронађен начин претварања енергије ускладиштене у природи у користан механички рад. Механички рад је основа продуктивности људског друштва. Енергетски претварачи су направе које претварају један вид енергије у други, међу којима су најбитнији обртни енергетски претварачи.

Због своје једноставности и економичности, асинхроне машине преузимају велики удео као погонски мотори у индустрији, пољопривреди, домаћинствима и сл. Мањи моменат инерције, поузданост и сигурност у раду су додатно допринели широј примени асинхроних машина, а најчешће се употребљавају у моторском режиму рада и то у трофазној изведби [1]. Од времена проналаска, па до данас, стално се ради на усавршавању асинхроних мотора.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Дејан Јеркан, доцент.

Због широке примене, асинхрони мотори се у многоме разликују, а њихова конструкција зависи од услова под којима раде, врсте погона, начина њиховог покретања, номинланих параметара и др. Циљ овог рада је да се упореде перформансе за различите облике жлебова ротора, како би се добио јасан увид утицаја облика жлеба и њених проводника на излазне карактеристике асинхроних мотора, при чему конструкција статора остаје непромењена. Као предмет анализе су узета два мотора, једнокавезног и двокавезног типа ротора.

2. ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКО ПРЕТВАРАЊЕ ЕНЕРГИЈЕ

Електричне машине су енергетски претварачи који претварају електричну енергију у механички рад или врше конверзију механичког рада у електричну енергију. Ово електроуеааничко претварање енергије се заснива на спрежном (електромагнетном) пољу, које делује на струјна кола и покретне делове машине.

На проводнике и феромагнетике у спрежном пољу делују електромагнетне силе, док у струјним колима, промене флукса узрокују индуковање електроуеааторних сила [2]. Претварање енергије у обртним електричним машинама је засновано на следећим основним физичким принципима: Лоренцова сила, Фарадејев закон електроуеагнетне индукције, Амперов закон, као и Кирхофови закони.

2.1. Обртно поље

Асинхрони мотори већих снага су углавном у трофазној изведби. У фазним намотајима мотора се, приликом повезивања на трофазну мрежу, успостављају наизменичне струје, стварајући вектор магнетопобудне силе (МПС) у правцу осе намотаја, а амплитуда ове силе је зависна од струја. Амплитуда магнетопобудне силе фазног намотаја мења се по ободу зазора у функцији времена, због простопериодичне промене струје.

Резултантна магнетопобудна сила се добија као збир три пофазне магнетопобудне силе, а има константну амплитуду и ротира у простору синхроном брзином ω . Овој обртној сили одговара и обртно поље, познатије као Теслино обртно поље [3].

С обзиром да се кроз све три фазе статорског намотаја успостављају наизменичне, фазно померене струје, оне узрокују резултантну магнетопобудну силу у зазору, која се понаша као да је настала од сталних магнета.

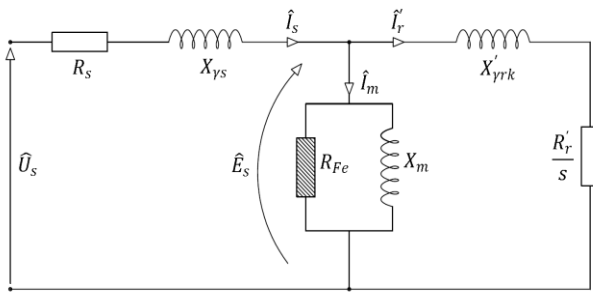
2.2. Губици асинхронних мотора

При претварању механичке енергије у електричну, и обрнуто, јављају се нежељени губици енергије. Губици представљају изгубљени део снаге, који се манифестују у виду топлоте, што доприноси загревању машина. Поред тога, са појавом ових нежељених ефеката, смањује се и ефикасност машине, односно степен искоришћења. Приликом конструисања машина, тежи се да се губици што више смање, како би се ефикасност повећала.

2.3. Заменско коло и моменат конверзије

Ради лакшег моделирања, асинхроне машине се могу представити заменским колом. За устаљена стања, заменско коло се може одредити аналогно трофазном трансформатору, при чему је статор представљен као примар трансформатора, а ротор је у улози кратко спојеног секундара.

Усвајајући једначине напонских равнотежа статорског и роторског кола, долази се до приказа заменског кола, датог на слици 1, на основу којег се даље могу одредити законитости које карактеришу асинхроне моторе.



Слика 1 – Заменско коло асинхроног мотора

Услед успостављања роторске струје, у садејству са обртним магнетним пољем, ствара се обртни моменат мотора, који покреће ротор у смеру поља. Снага пренета електромагнетним путем на ротор се исказује снагом обртног поља, а представља снагу која се преноси кроз ваздушни зазор машине на ротор. Крајња механичка снага се добија тек када се уваже механички губици и губици активне снаге ротора [3], па се сходно наведеном долази до коначног израза (1) за моменат конверзије:

$$m_c = \frac{3 \cdot p}{2\pi f_s} U_s^2 \frac{\frac{R_r'}{s}}{\left(R_s + \sigma_1 \frac{R_r'}{s}\right)^2 + (X_{ys} + \sigma_1 X_{yrk}')^2} \quad (1)$$

3. РАСИПНЕ ИНДУКТИВНОСТИ И ОТПОРНОСТИ АСИНХРОНИХ МОТОРА

Током рада електричне машине долази до успостављања магнетног поља, које се описује помоћу магнетног флуksа. Познато је да укупни флуks не учествује у потпуности у корисној конверзији, већ се јављају и компоненте флуksа које обухватају само статорске, као и компоненте које захватају само роторске намоте. Ове компоненте флуksа су познате као флуks расипања, а са њиховом појавом у машини се успостављају веће вредности струје магнетног поља. Расипни флуks се обично сматра негативним феноменом у раду асинхроног мотора, али има важну улогу у ограничавању полазних струја, као и утицај на моментну карактеристику.

Расипни флуks статора и ротора се представља у облику укупне индуктивности расипања, која представља суму индуктивности расипања зазора машине, расипне индуктивности жлеба, индуктивности расипања зубаца, као и крајева намотаја и расипна индуктивност настала услед закошења роторских жлебова [4,5]. Облик жлеба има значајан утицај на флуks расипања, јер је магнетна отпорност, на коју наилази овај флуks, зависна од геометрије жлеба. Приликом одређивања расипних реактанси статора и ротора, облик жлеба утиче на подужну магнетну проводност.

Кавезни ротори у својим жлебовима имају један проводник (или два у случају двокавезне конструкције), чија висина битно утиче на расипне индуктивности машине, као и на појаву ефекта потискивања струје. Наиме, приликом успостављања струје ротора, флуks расипања пролази кроз жлебове и затвара се кроз зупце и јарам магнетног кола ротора. Делови проводника ротора при дну жлеба су захваћени са већом густином линија флуksа расипања, у поређењу са вишим сегментима, услед чега импеданса расипања проводника опада према врху. Индуктивност делова проводника који се налазе ближе отвору жлеба је мања, те наизменична струја има тенденцију да се успоставља у деловима проводника обухваћеним са мањим расипним флуksом. Услед потискивања наизменичне струје, отпорност проводника је нешто већа него у случају успостављања једносмерне струје. Под оваквим условима, густина струје расте од дна према отвору жлеба ротора. Ефекат потискивања је зависан од фреквенције струје, па је најизраженији приликом старта мотора, јер је тада фреквенција роторске струје једнака фреквенцији напајања, а линеарно опада са повећањем брзине обртања ротора. Услед већих расипних импеданси дубљих делова штапова, струја се потискује ка врху жлеба, те један део проводника остаје неискоришћен. Како је струја ротора при покретању сконцентрисана на мањем попречном пресеку проводника, отпорност заклоњеног ротора је знатно већа [2,4,5]. Последица ефекта је мања полазна струја мотора, као и већи полазни моменат. Овај ефекат је израженији код проводника веће висине.

Мале реактансе расипања резултују ка већим вредностима полазних струја. Јасно је да је у интересу да ове струје буду што мање. Сходно зависности полазне струје од индуктивности расипања, ова струја се може умањити увећањем расипних индуктивности. Међутим, како је и превални (максимални) моменат зависан од расипних индуктивности, тако ће се овим поступком умањити његова вредност, па је неопходно наћи решење које ће бити прихватљиво по оба параметра. Иако увећање расипних реактанси позитивно утиче на вредности струје покретања, повољнија ситуација је да ове реактансе буду мање, јер се на тај начин добија већи фактор снаге, као и мањи падови напона.

Карактеристике асинхронних мотора указују да је при пуном оптерећењу клизање знатно мање за мотор са мањом еквивалентном отпорношћу. Ефикасност ротора је одређена релацијом клизања (1-s), па је предност

мањег активног отпора ротора и већа ефикасност [6]. Међутим, мале отпорности имају и неке недостатке. Полазни моменат је зависан од отпорности ротора, па се за мале вредности активног отпора добија смањен полазни моменат. Ниска вредност полазног момента може означити да оптерећење не може да се покрене из стања мировања. Једна битна мана нискоотпорних ротора су и високе полазне струје, које могу да доведу до великих падова напона у мрежи. Променом отпорности роторских намотаја, готово да не утичемо на максимални (превални) моменат, али је превално клизање директно пропорционално роторској отпорности.

Пожељно је да мотор при старту и при малим брзинама има већу отпорност ротора, док је ниска отпорност пожељна при номиналним брзинама. Да би се остварила оба ефекта, неопходно је да се омогући промена отпорности ротора од тренутка покретања мотора до достизања номиналне брзине. Ако се у обзир узму само кавезни мотори који се покрећу директним прикључењем на трофазну мрежу, ефекат промене отпорности се може постићи са конструисањем ротора у двокавезној изведби или са дубоким жлебовима на ротору. Код оваквих типова жлебова је израженији ефекат потискивања струје, па самим тим и промена отпорности.

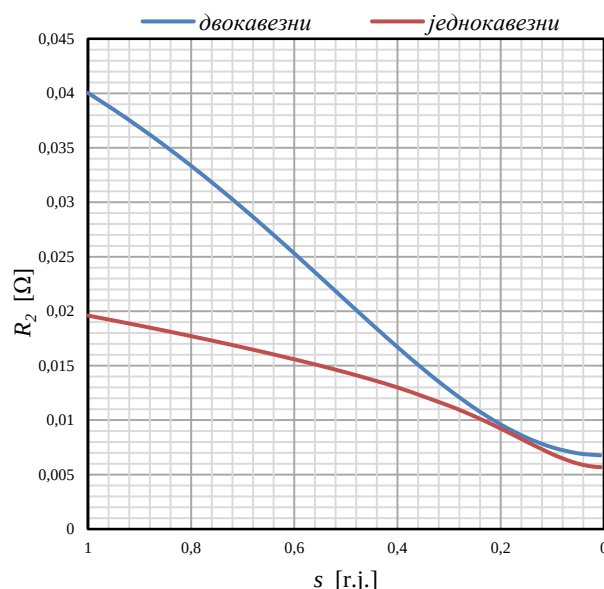
4. УПОРЕДНА АНАЛИЗА ДВОКАВЕЗНОГ И ЈЕДНОКАВЕЗНОГ АСИНХРОНОГ МОТОРА

Као предмет анализе је узет четворополни, асинхрони мотор, осне висине 355mm, затвореног типа кућишта, са сопственом вентилацијом. Примењена је анализа мотора при употреби једнокавезног и двокавезног ротора, како би се јасно истакле разлике у перформансама. Приликом прорачунавања параметара је усвојено да је конструкција статора идентична за поменута два типа мотора. Једнокавезни ротор је сачињен од правоугаоних бакарних проводника, док је двокавезни тип изведен са месинганим штаповима у спољашњем делу жлеба ротора, а у дубље отворе жлебова су смештени бакарни штапови.

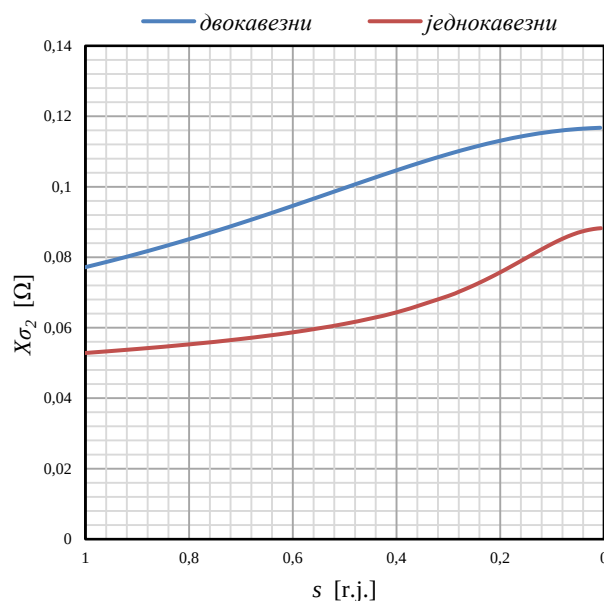
Као последица ефекта потискивања струја у проводницима ротора, изражено је повећање омске отпорности роторског кола асинхронног мотора приликом његовог упуштања у рад. Ефекат потискивања струја је доминантнији за случај двокавезног ротора, те је повећање роторске отпорности приликом стартовања мотора израженије. Струја током покретања двокавезног ротора је сконцентрисана у месинганим проводницима, који због природе материјала доприносе додатном повећању омске отпорности роторског кола.

Иако је укупна ефективна површина роторских проводника двокавезног мотора већа, омска отпорност при покретању је израженија. Слика 2 и 3 илуструју омске и индуктивне отпорности два ротора за различите вредности клизања.

Зависно од типа погона, мотор се конструише да његова моментна карактеристика у свим тачкама буде изнад криве момента терета који покреће, све до постизања номинлане вредности брзине. Са повећањем активне отпорности ротора, полазни моменат добија већу вредност.



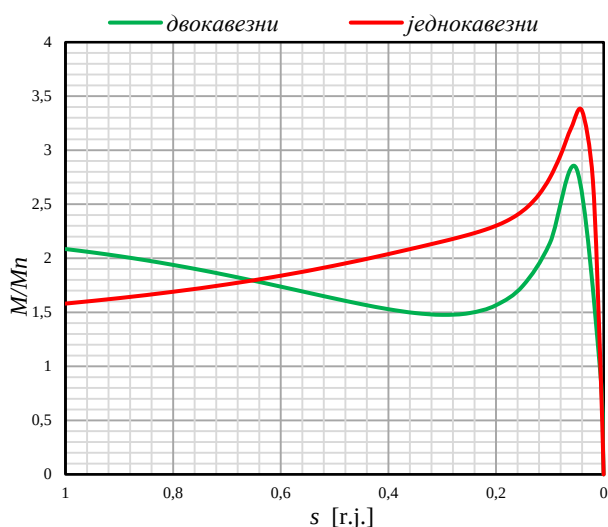
Слика 2 – Омске отпорности ротора једнокавезног и двокавезног мотора за различите вредности клизања



Слика 3 – Индуктивне отпорности ротора једнокавезног и двокавезног мотора за различите вредности клизања

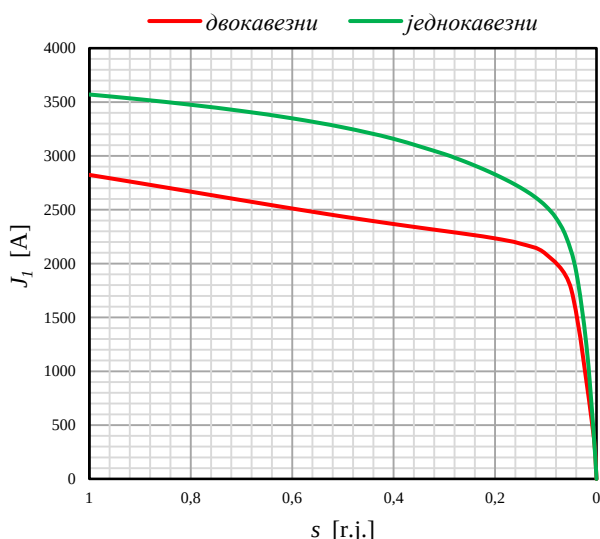
Како је омска отпорност заклоњеног ротора већа код двокавезног мотора, очекивано је и да је полазни моменат већи за овај случај. Мање вредности индуктивног отпора су својствени за једнокавезни мотор, које директно условљавају висину превалне тачке на моментној карактеристици. Што се тиче развијеног момента мотора, јасно је да је предност двокавезног мотора када је реч о полазном моменту, док је превални моменат умањен. На слици 4 су представљене криве момента у функцији клизања.

Струје покретања мотора представљају значајан проблем, јер могу да достигну вредности чак и до десет пута веће од номиналних. С обзиром да је укупна сведена омска отпорност при кратком споју знатно мања од индуктивне, на струју покретања у највећој мери утичу укупне реактансе.



Слика 4 – Моментне карактеристике мотора у функцији клизања

Са циљем сузбијања великих вредности полазних струја, повећање вредности расипних индуктивности је нашло позитивну примену. Двокавезне роторе, дакле, карактеришу мање вредности полазних струја, што је уочљиво на слици 5.



Слика 5 – Струје мотора у функцији клизања

Облик жлеба има битан утицај на вредности магнетних индукција мотора. Мање ширине јарма и зубаца ротора двокавезног мотора условљавају повећане вредности индукција ових делова машине. Самим тим је потребан већи удео магнетопобудне силе за успостављање поља, па је код двокавезног мотора потребна и већа струја магнећења кола.

Код мотора са двокавезним ротором успоставља се струја са већим уделом реактивне компоненте, па је сходно томе фактор снаге у номиналном режиму рада већи код једнокавезног мотора.

5. ЗАКЉУЧАК

Код асинхронних мотора намењених за директно покретање је неопходно да се познају моменти оптерећења погона који мотор покреће, јер је тиме директно условљена конструкција ротора. Моментна карактеристика мотора мора да буде изнад свих тачака момента оптерећења, све док се не достигне устаљен режим рада.

Дубље проводнике ротора, као и двокавезни начин извођења мотора, карактерише израженији ефекат потискивања струје, чиме се циљано повећавају омске отпорности роторског кола. Као последица потискивања струја се добијају повећање вредности полазних момента и смањење струја покретања, али, као негативна страна, смањују се фактор снаге и максимални моменат. Аналитичким прорачуном су потврђене теоретски изложене разлике једнокавезног и двокавезног асинхронног мотора, па је оправдана употреба двокавезног мотора за потребе повишених вредности полазних момената, као и смањене вредности полазних струја. Када у погону нису потребне веће вредности полазних момената, углавном се прибегава једнокавезном начину конструисања ротора, због постизања бољег фактора снаге, мање номиналне струје, али и стабилније моментне криве за устаљена стања. Поред наведеног, економичност израде мотора је предност једнокавезног типа ротора.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жожеф Варга, „Електричне машине II“, Суботица, 2006.
- [2] Слободан Н. Вукосавић, „Електричне машине“, Београд, 2010.
- [3] Емил Леви, Владан Вучковић, Владимир Стрезоски, „Основи електроенергетике – Електроенергетски претварачи“, Нови Сад, 2013.
- [4] Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova, „Design of Rotating Electrical Machines“, 2008.
- [5] Ion Boldea, Syed A. Nasar, „The Induction Machines Design Handbook“-second edition, 2010.
- [6] Austin Hughes, „Electric Motors and Drives“-third edition, 2006.

Кратка биографија:



Данило Лајишић је рођен 1994. године у Суботици. Основне студије завршио је на Факултету техничких наука 2018. године из области Електротехнике и рачунарства – Електроенергетски системи. Мастер рад на истом факултету из области Електротехнике и рачунарства - Енергетска електроника и електричне машине одбранио је 2020. године.

MODELOVANJE I ANALIZA UTICAJA PROPADA NAPONA PRIMJENOM TEST MREŽA SA DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA**MODELING AND ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VOLTAGE SAGS USING TEST NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATORS**

Jana Toholj, Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu se razmatraju propadi napona prilikom simulacije kvarova na različitim mjestima i udaljenostima u modifikovanim IEEE 3-bus i IEEE 9-bus test mrežama. Mreže su modifikovane tako što su u njima priključeni distribuirani generatori, t.j. vjetroelektrane. Cilj je da se utvrdi uticaj priključenih distribuiranih generatora, kao i uticaj udaljenosti mjesta kvara na propade napona. Modelovanje je izvršeno u programskom paketu DIgSILENT Power Factory.

Ključne reči: propadi napona, IEEE test mreže, vjetroelektrana

Abstract – In this paper are considered voltage sags during fault simulation at different locations and distances in modified IEEE 3-bus and IEEE 9-bus test grids. The grids have been modified by connecting distributed generators, i.e. wind farms. The goal is to determine the influence of the connected distributed generators in the grid, as well as the influence of the distance of the fault location on the voltage sags. The modelling was performed in the software package DIgSILENT Power Factory.

Keywords: voltage sags, IEEE test grids, wind farm

1. UVOD

Pod distribuiranim generatorima (DG) podrazumjevaju se generatori manjih snaga, koji se priključuju direktno na distributivnu mrežu i koji za pogon koriste obnovljive izvore energije ili viškove energije iz nekog drugog tehnološkog (proizvodnog) procesa. Samo ime DG vezuje se za izvore energije, koji su rasprostranjeni po distributivnoj mreži. Iz ovoga slijedi da se distribuirana proizvodnja odnosi na električnu energiju dobijenu na lokaciji potrošača ili u njegovoj blizini [1].

Priključenje ovih izvora i njihova sinhronizacija sa mrežom obavlja se preko odgovarajućih energetskih elektronskih pretvarača, koji su nelinearne prirode i zasnovani na digitalnim tehnikama upravljanja. Iz tog razloga značajno je razmotriti njihovu interakciju sa mrežom, odnosno obostrani uticaj na parametre kvaliteta električne energije. Uticaj može biti dvojak. Sa jedne strane DG-i poboljšavaju naponske prilike u distributivnoj

mreži, smanjuju gubitke u prenosu, poboljšavaju pouzdanost napajanja, ali i doprinose povećanju harmonijske distorzije napona. S druge strane, poremećaji naponskih prilika u mreži (propadi ili poskoci napona, nesimetrija, flicker i sl.) utiču na pravilan i stabilan rad energetskih pretvarača sa strane mreže, odnosno mrežnih invertora (DC/AC).

U ovom radu će se posmatrati propadi napona na sabirnicama mrežnih invertora, kao posljedica kvarova na raznim lokacijama u mreži. Radi referentnijih rezultata, istraživanje će se vršiti na standardizovanim, IEEE test mrežama sa dodatim DG-om (vjetroelektranom) i to IEEE 3-bus i IEEE 9-bus [2]. Koristiće se posebno razvijeni modeli test mreža u demo-verziji programskog paketa DIgSILENT Power Factory [3]. Cilj rada je da utvrdi uticaj priključenih DG, kao i uticaj udaljenosti mjesta kvara na nivo propada napona na sabirnicama invertora.

2. TEST MREŽE

Pokazalo se da je testiranje različitih scenarija u softverskim alatima vremenski dugotrajno i zahtjevno. Zbog toga, pojavila se potreba da se ustanove jedan ili više referentnih modela distributivnih mreža sa standardizovanim kompleksnošću, strukturom i dobro poznatim i dokumentovanim parametrima, koji mogu da predstavljaju distributivne ili prenosne mreže. Navedeni test i referentni modeli su izabrani kao optimalni da mogu da pokriju najrazličitije potrebe za testiranjem u različitim uslovima u zavisnosti od tipova opterećenja i same strukture elektroenergetskog sistema. Uglavnom ovi modeli predstavljaju uprošćene modele realnih elektroenergetskih sistema. Od velikog broja test mreža ovdje će se koristiti IEEE test mreže (IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) i to one sa 3 (IEEE 3-bus) i sa 9 sabirnica (IEEE 9-bus) [2]. Da bi se razmatrao uticaj DG-a, ovim test mrežama će se dodati vjetrogenerator na jednoj sabirnici IEEE 3-bus i na dvije sabirnice kod IEEE 9-bus test mreže.

3. KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE - PROPADI NAPONA

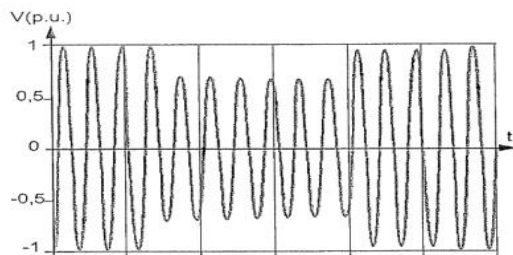
Pitanje kvaliteta električne energije je neodvojivo vezano za osnovna postavke elektroenergetskog sistema, pa je od velike važnosti za njegovo funkcionisanje. Kvalitet električne energije predstavlja zajednički interes potrošača i proizvođača električne energije, a problemi u vezi sa kvalitetom su postavljeni u žižu interesovanja savremene distributivne mreže. Od posebnog interesa si viši harmonici i propadi napona, jer su njihovi efekti

NAPOMENA:

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

posebno izraženi u radu EES-a i potrošača [4]. U ovom radu fokus će biti na propadima napona.

Propad napona predstavlja kratkotrajno smanjenje efektivne vrijednosti napona od 10% do 90% nominalne vrijednosti, obično u trajanju od polovine periode do 1 min. Na slici 1 prikazan je tipičan vremenski oblik propada napona. Uzroci propada napona su kratki spojevi, uključivanje velikih potrošača (asinhronih motora i elektrolučnih peći), povezivanje distributivnih transformatora i druga preopterećenja u mreži. Posljedice propada napona su otkazivanje opreme, prekid programa, gubitak informacija, prekid proizvodnog procesa ili oštećenje industrijskih proizvoda. Kod DG-a propadi mogu da izazovu prevelike struje i pregorjevanje tranzistorskih prekidača u invertoru, gubitak sinhronizacije i ispad DG-a.



Sl. 1. Vremenski oblik propada napona [4]

4. MODELOVANJE IEEE TEST MREŽE

Za ovo istraživanje izvršeno je modelovanje IEEE test mreža sa 3 i 9 sabirnica dopunjenih sa DG-ma (vjetroeletranama) u programskom jeziku DIgSILENT Power Factory [3].

4.1. Model IEEE 3-bus test mreže

U standardnom modelu IEEE 3-bus dodato je 3 MW iz DG-a (dva vjetrogeneratora snage od po 1,5 MW) na sabirnici 3 i izvršene odgovarajuće simulacije. Na slici 2 prikazan je model ove mreže u demo-verziji DIgSILENT-a. Vide se još dva sinhrona generatora na sabirnicama 1 i 2, kao i odgovarajuća potrošnja na sabirnicama 2 i 3. Sve sabirnice su direktno povezane dalekovodima.

4.2. Model IEEE 9-bus test mreže

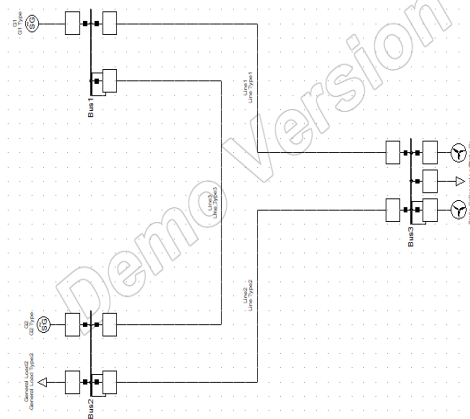
U standardnom modelu IEEE 9-bus dodato je 3 MW iz DG-a i to dva vjetrogeneratora snage od po 1,5MW, po jedan na sabirnicama 2 i 3, te izvršene odgovarajuće simulacije. Na slici 3 prikazan je model ove mreže u demo-verziji DIgSILENT-a. Vide se još tri sinhrona generatora na sabirnicama 1 i 2, kao i odgovarajuća potrošnja na sabirnicama 1, 2 i 3, te odgovarajuća električna mreža između njih.

5. REZULTATI SIMULACIJA

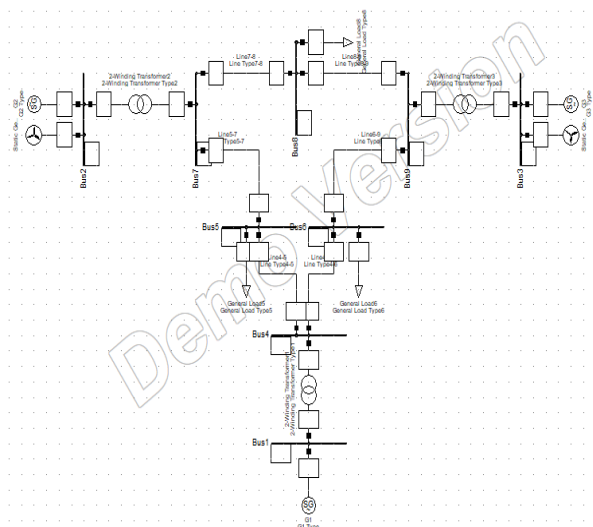
Simulirani su jednopolni (1pks) i trolpolni (3pks) kratki spojevi na različitim sabirnicama kako bi se uočio uticaj promjene mjesta kvara na nivo propada napona.

5.1. Rezultati simulacija na IEEE 3-bus test mreži

Posmatrani su 1pks i 3pksi njihov uticaj na nivo propada napona na mjestu priključenja vjetrogeneratora, tj. na sabirnici 3.



Sl. 2. Model modifikovane IEEE 3-bus test mreže modelovane u DIgSILENT-u



Sl. 3. Model modifikovane IEEE 9-bus test mreže modelovane u DIgSILENT-u

5.1.1. Kvar na sabirnici 1

Na slikama 4 i 5 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 3 u slučaju 1pks (u fazi B) i 3pks na sabirnici 1, respektivno.

Mogu se uočiti odgovarajući poremećaji napona i značajne dubine propada. U tabeli 1 date su numeričke vrijednosti ovih propada za oba slučaja.

5.1.2. Kvar na sabirnici 2

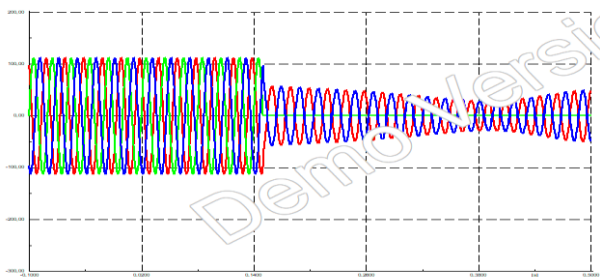
Na slikama 6 i 7 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 3 u slučaju 1pks (u fazi B) i 3pks na sabirnici 2, respektivno.

Opet se mogu uočiti odgovarajući poremećaji napona i značajne dubine propada, s tim da je uticaj 3pks nešto manji.

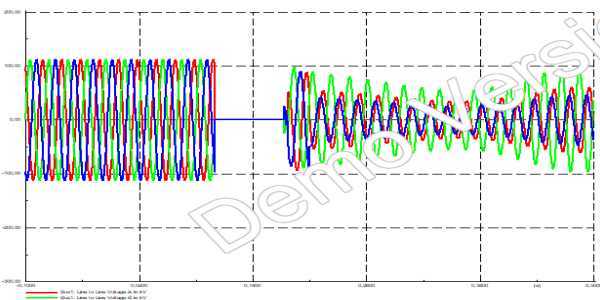
U tabeli 1 date su numeričke vrijednosti ovih propada za obaslučaja.

5.1.3. Kvar na sabirnici 3

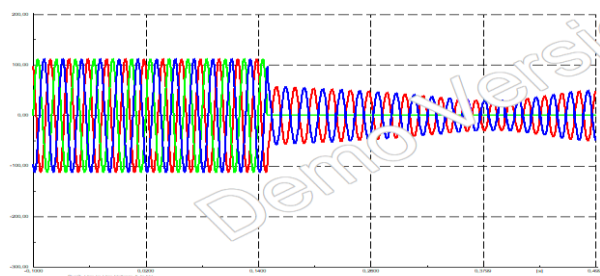
Na slikama 8 i 9 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 3 u slučaju 1pks (u fazi B) i 3pks na sabirnici 3, respektivno. Kao što je i očekivano napon je nula u oba slučaja. Rezultati su numerički predstavljeni u tabeli 1.



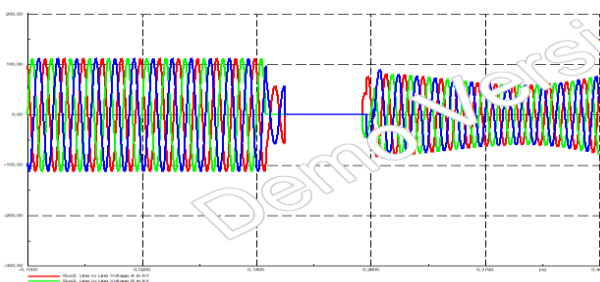
Sl.4. Fazni naponi tokom 1pks u fazi B na sabirnici 1



Sl. 5. Fazni naponi tokom 3pks na sabirnici 1



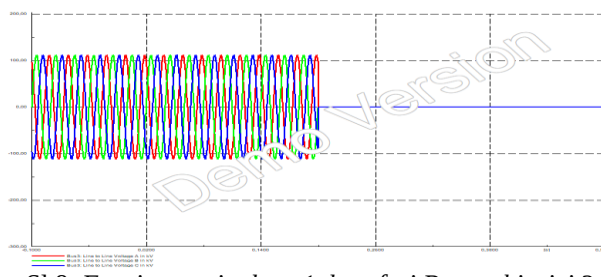
Sl.6. Fazni naponi tokom 1pks u fazi B na sabirnici 2



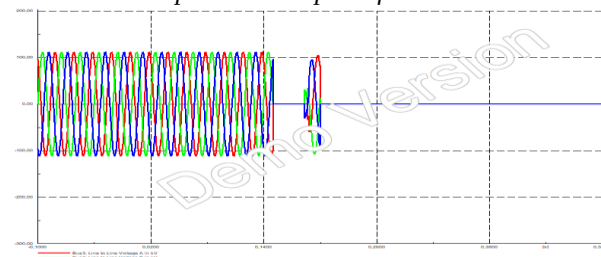
Sl.7 Fazni naponi tokom 3pks na sabirnici 2

Tabela 1. Propadi napona na sabirnici 3 pri 1pks i 3pks na sabirnicama 1, 2 i 3

Faze	Kr.spoj na sab. 1	Kr.spoj na sab. 2	Kr.spoj na sab. 3
1pks			
A	-69.56%	-69.99%	0
B	0	0	0
C	-69.56%	-69.99%	0
3pks			
A	-55.21%	-42.77%	0
B	-46.34%	-41.89%	0
C	-67.22%	-42.91%	0



Sl.8. Fazni naponi tokom 1pks u fazi B na sabirnici 3



Sl.9. Fazni naponi tokom 3pks na sabirnici 3

5.2. Rezultati simulacija na IEEE 9-bus test mreži

Simulirani su 1pks i 3pks na različitim sabirnicama kako bi se uočio uticaj priključenih vjetrogeneratora na nivo propada napona. Rezultati simulacija pri kvarovima na sabirnicama 2, 6 i 9 dati su nastavku.

5.2.1. Kvar na sabirnici 2

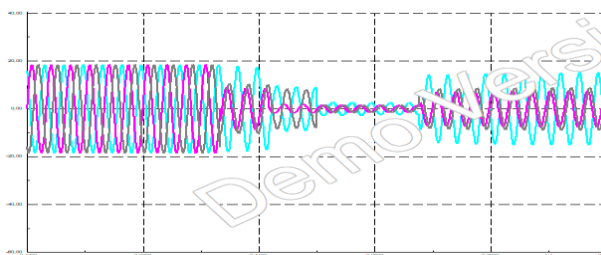
Na slikama 10 i 11 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi u slučaju 1pks (u fazi C) i 3pks na sabirnici 2, respektivno. Mogu se uočiti značajni propadi napona pa i kratkotrajni prestanak napajanja. U tabeli 2 date su numeričke vrijednosti propada za oba slučaja.

5.2.2. Kvar na sabirnici 6

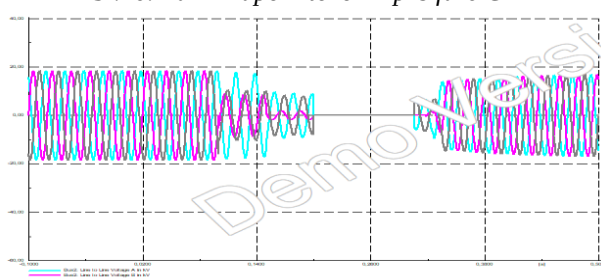
Na slikama 12 i 13 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi u slučaju 1pks (u fazi C) i 3pks na sabirnici 6, respektivno. Mogu se uočiti značajni propadi napona pa i kratkotrajni prestanak napajanja. U tabeli 2 date su numeričke vrijednosti propada za oba slučaja.

5.2.3. Kvar na sabirnici 9

Na slikama 14 i 15 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi u slučaju 1pks (u fazi C) i 3pks na

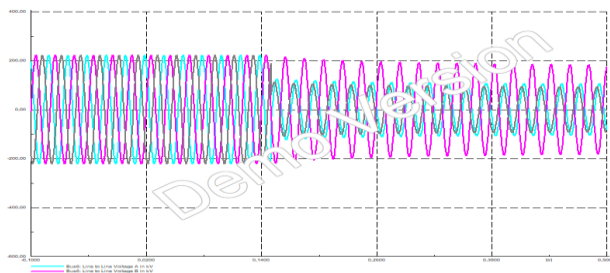


Sl.10. Fazni naponi tokom 1pks faze C

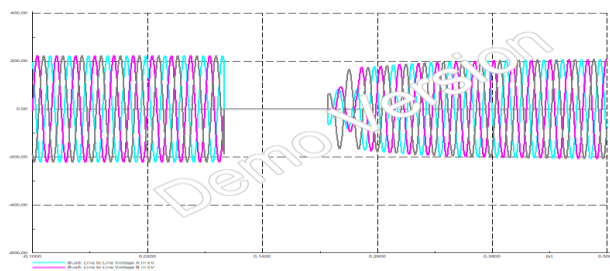


Sl.11. Fazni naponi tokom 3pks

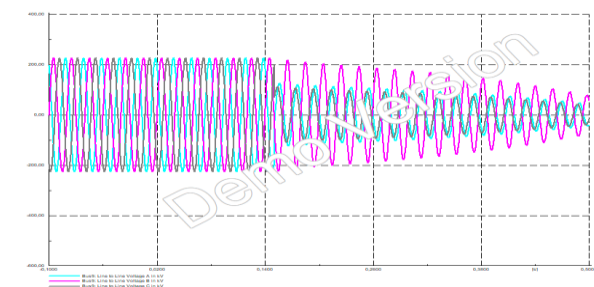
sabirnici 9, respektivno. Mogu se uočiti značajni propadi napona pa i kratkotrajni prestanak napajanja. U tabeli 1 date su numeričke vrijednosti ovih propada za oba slučaja.



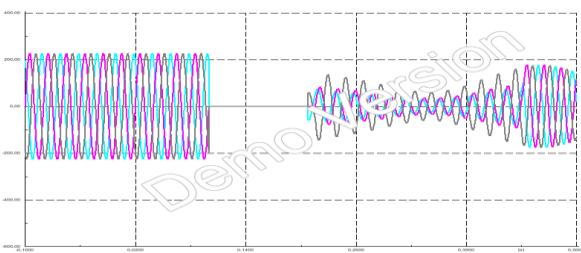
Sl.12. Fazni naponi tokom 1pks u fazi C



Sl.13. Fazni naponi tokom 3pks



Sl.14. Fazni naponi tokom 3pks



Sl.15. Fazni naponi tokom 3pks

Tabela 2. Propadi napona pri 1pks i 3pks na sabirnicama 2, 6 i 9

Faze	Kr.spoj na sab. 2	Kr.spoj na sab. 6	Kr.spoj na sab. 9
1pks			
A	-71.67%	-56.62%	-78.62%
B	-83.11%	-21.21%	-57.30%
C	-83.89%	-64.63%	-81.42%
3pks			
A	-68.45%	-52.14%	-86.67%
B	-86.99%	-48.46%	-80.21%
C	-66.67%	-67.29%	-67.99%

6. ZAKLJUČAK

Analizom više različitih slučajeva za jednopolni i trolpolni kratak spoj, zaključeno je da priključenje DG-a u mreži u manjoj ili većoj mjeri doprinosi povećanju karakteristika propada napona na izabranim pozicijama. Ukoliko je u mreži priključeno više DG-a to je veća snaga dobijena iz njih, i povećanje propada napona će biti veće.

U slučaju IEEE 3-bus test mreže praćeni su rezultati pri kvarovima na sabirnicama 1, 2 i 3 respektivno. Rezultati propada napona pri kvarovima na sabirnicama 1 i 2 su približni, iz razloga što se sabirnice nalaze na sličnoj udaljenosti od sabirnice 3.

Za IEEE 9-bus mrežu izvršena je slična analiza za priključena dva vjetrogeneratora (jedan na sabirnicu 2, drugi na sabirnicu 3), a testirani su jednopolni i trolpolni kratki spojevi na sabirnicama 2, 6 i 9. Rezultati simulacije pokazuju da su najmanji propadi napona pri kvaru na sabirnici 6. Ova sabirnica je daleko od priključenih vjetrogeneratora, pa je to razlog nižih propada. Nešto veći propadi su pri kvaru na sabirnici 9, dok su najveći pri kvaru na sabirnici 2, na koju je priključen jedan vjetrogenerator. Takođe, kvarovi koji su bliži priključenim DG-a, dovode do većih propada. Pored mjesta kvara i pogonskog stanja sistema, na propade napona u elektroenergetskom sistemu utiče i vrsta kvara.

7. LITERATURA

- [1] V. Mijailović, „Distribuirani izvori energije – principi rada i eksploatacioni aspekti“, Akademska misao, Beograd, 2011.
- [2] A. Stanisavljević, V.A. Katić, B. Dumnić, B. Popadić, „A Brief Overview of the Distribution Test Grids with a Distributed Generation Inclusion Case Study“, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol.15, No.1, Feb.2018, pp. 115 – 129,
- [3] <https://www.digsilent.de/en/>
- [4] V.A. Katić, A. Tokić, T. Konjić: „Kvalitet električne energije“, TEMPUS-CEFES, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.

Kratka biografija:



Jana Toholj rođena je 1996. god. u Ljubinju, BiH. Osnovne studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2019. god., a master 2020. god. iz oblasti Elektrotehnike i računarstva.



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. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, kvalitet električne energije, obnovljivi izvori električne energije i električna vozila.



Aleksandar M. Stanisavljević, rođen je u Beogradu 1988. god. Doktorirao ne na Univerzitetu u Novom Sadu 2019. god. gde je trenutno u zvanju docenta. Oblast interesovanja su mu integracija obnovljivih izvora energije na mrežu i kvalitet električne energije.

TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SRBIJI**ELECTRICITY MARKET IN SERBIA**Vanja Desančić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U okviru ovog rada predstavljene su osnovne karakteristike i osobine tržišta električne energije u Republici Srbiji, kao i neki osnovni činioci koji imaju veliki uticaj na organizaciju i funkcionisanje istog. U ovom radu su detaljnije analizirani Energetska zajednica jugoistočne Evrope, Agencija za energetiku Republike Srbije, Zakon o energetici i SEEPEX. Takođe je izvršena simulacija tržišta električne energije u Srbiji, za određeni period vremena, i predstavljeni su njeni rezultati.

Ključne reči: tržište električne energije, Zakon o energetici, Agencija za energetiku, simulacija tržišta

Abstract - In this paper the basic characteristics and features of the electricity market in Serbia are presented as well as some basic factors that have great influence on its organization and functioning. This paper analyzes Energy Community of Southeast Europe, the Energy Agency of Serbia, the Law of Energy and SEEPEX. This paper also presented the simulation of the electricity market in Serbia for a certain period of time and results of that simulation.

Keywords: electricity market, energy law, energy agency, market simulation

1. UVOD

Prilikom trgovanja na tržištu, kupac i prodavac sklapaju dogovore oko nekih najbitnijih elemenata trgovine poput količine i kvaliteta robe, roka i mesta isporuke, načina plaćanja i tako dalje [1]. Način na koji se ovi elementi ugovaraju zavisi i od tipa tržišta.

Postoje tri osnovna tipa, to su bilateralno, berza i centralno tržište, pri čemu je tržište neretko kombinacija bilateralnog i centralnog, koje se zove mešovito tržište električne energije.

Razvoj tržišta u Srbiji se odvijao kroz tri faze. Prva se odnosila na potrošače priključene na visoki napon, druga faza je uređivala položaj potrošača priključenih na srednji napon, dok je trećom fazom uređen položaj potrošača priključenih na niski napon. Osnovni vidovi tržišta električne energije u Republici Srbiji su bilateralno, balansno i organizovano tržište električne energije.

U Republici Srbiji u okviru primarne energije je najdominantniji uglj i to onaj niskokalorični, odnosno lignit. Lignit se dominantno koristi za proizvodnju električne energije. Njegov udeo u ukupnoj primarnoj energiji je oko 49% [2]. Energetska nezavisnost zemlje upravo proističe iz ovoliko velike količine lignita u

primarnoj energiji, ali isto tako i od proizvodnje električne energije uz dosta niske i stabilne troškove.

Učesnici na tržištu električne energije u Srbiji, saglasno poslednje usvojenom Zakonu o Energetici iz 2014. godine, mogu biti proizvođač električne energije, snabdevač i snabdevač na veliko, krajnji kupac, operator prenosnog, distributivnog i zatvorenog distributivnog sistema i druga pravna lica u skladu sa pravilima o radu organizovanog tržišta.

2. ENERGETSKA ZAJEDNICA JUGOISTOČNE EVROPE

Osnovana je 2005. godine transformacijom političkih sporazuma o stvaranju regionalnog tržišta električne energije u pravno obavezujuće ugovore [1]. Osnovni ciljevi ove organizacije je poboljšanje ekonomskih, ekoloških i društvenih standarda i u tom smislu sprovodi brojne aktivnosti u ostvarenju ovih ciljeva, ali i primenjivanju pravnih tekovina Evropske Unije. Koordinator svih aktivnosti koje sprovodi energetska zajednica je Evropska unija.

Najviši organ ove organizacije je Ministarski savet. Institucije Energetske zajednice čine još i Stalna grupa na visokom nivou, Regulacioni odbor, Sekretarijat i Forumi kao savetodavno telo.

3. ZAKON O ENERGETICI

Ovim zakonom uređuju se ciljevi energetske politike i način njenog ostvarivanja, uslovi za pouzdanu, sigurnu i kvalitetnu isporuku energije i energenata i uslovi za sigurno snabdevanje kupaca, zaštita kupaca energije i energenata, uslovi i način obavljanja energetskih delatnosti, uslovi za izgradnju novih energetskih objekata, status i delokrug rada Agencije za energetiku Republike Srbije, korišćenje obnovljivih izvora energije, podsticajne mere i garancija porekla, način organizovanja i funkcionisanja tržišta električne energije, prirodnog gasa i nafte i derivata nafte, prava i obaveze učesnika na tržištu, uspostavljanje svojine na mrežama operatora sistema, kao i nadzor nad sprovođenjem ovog zakona [3]. Takođe, treba napomenuti da se ovaj rad bavi tržištem električne energije, stoga su analizirani samo oni delovi zakona koji se odnose na električnu energiju.

Prava i obaveze između snabdevača i krajnjeg kupca su regulisane ugovorom o snabdevanju [3]. Ovim ugovorom na jasan i nedvosmislen način moraju biti uređeni način plaćanja, rešavanje sporova, rok na koji se ugovor potpisuje, dužnosti kako snabdevača tako i krajnjeg kupca i tako dalje.

Ovim ugovorom se obezbeđuje mogućnost slobodne promene snabdevača bez ikakvih dodatnih finansijskih

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nenad Katić, vanr. prof.

obaveza po tom osnovu, sa otkaznim rokom od najmanje 30 dana [3].

Postoje četiri ovakva ugovora i to su ugovor o potpunom snabdevanju, ugovor o snabdevanju sa unapred određenom količinom električne energije, garantovano snabdevanje i rezervno snabdevanje.

Ovaj zakon propisuje dužnosti snabdevača i krajnjeg kupca, ali i delatnosti i način upravljanja prenosnim i distributivnim sistemom. Takođe, ovaj zakon propisuje pri kojim slučajevima može doći do ograničenja ili potpunog isključenja isporuke električne energije.

Kada je reč o usaglašenosti Zakona o energetici sa Direktivama Evropske Unije, treba reći da novi Zakon o energetici, donešen 29. 12. 2014. godine, u potpunosti implementira ceo Treći energetska paket Evropske Unije.

Na taj način je Republika Srbija postala prva zemlja regiona koja je svoj zakon u potpunosti usaglasila sa propisima i odredbama Evropske Unije.

4. AGENCIJA ZA ENERGETIKU REPUBLIKE SRBIJE

Agencija za energetiku predstavlja jedino regulatorno telo za oblast energetike u Republici Srbiji sa osnovnim ciljem unapređenja i usmeravanja tržišta električne energije na principima nediskriminacije i efikasne konkurencije. Osnovana je 2004. godine, a registrovana i počela sa radom naredne 2005.

Rad Agencije mora biti potpuno nezavistan od uticaja izvršne vlasti i drugih državnih institucija, što je i jedan od osnovnih uslova priključenja Evropskoj Uniji. Postoje tri nivoa nezavisnosti koja moraju biti ispunjena, funkcionalna, personalna i finansijska.

Glavni organ Agencije koji donosi najvažnije odluke i upravlja njenom organizacijom i radom jeste Savet. Sastoji se od predsednika i još četiri člana. Članovi Saveta moraju biti državljani Republike Srbije, sa barem 10 godina iskustva u oblasti energetike i visoko obrazovani u oblasti energetike ili ekonomije.

Takođe, članovi Saveta ne smeju biti poslanici u Narodnoj skupštini, pravosnažno osuđena lica, niti vlasnici ili suvlasnici energetske subjekata. Njih bira Narodna skupština na period od pet do sedam godina. Savet takođe donosi i Statut Agencije, kao i Pravilnik o radu i druga opšta akta.

Statut je najvažniji dokument Agencije kojim se uređuje organizacija i rad Agencije, i on mora dobiti saglasnost Narodne skupštine Republike Srbije [2].

Agencija za energetiku ima mnogobrojne aktivnosti i ovlašćenja koja su dodatno učvršćena i uvećana novim Zakonom o energetici iz 2014. Neke od najbitnijih aktivnosti su izdavanje licenci za obavljanje energetske delatnosti, regulacija cena, nadzor nad tržištem električne energije, međunarodne aktivnosti, odlučivanje po žalbama.

Pri izvršavanju navedenih aktivnosti, Agencija je dužna i da obezbedi sigurno snabdevanje krajnjih kupaca, razvoj tržišta električne energije i njegovu integraciju u regionalno, poštujući načela nepristrasnosti, podstiče efikasno funkcionisanje energetske sistema, obezbedi visok standard usluga snabdevanja, kao i da čuva tajnost komercijalnih i drugih poverljivih podataka [3].

5. OBNOVLJIVI IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Obnovljivi izvori električne energije se zasnivaju na prirodnim procesima, nalaze se u prirodi i imaju mogućnost obnavljanja. Fosilna goriva se takođe nalaze u prirodi i imaju mogućnost obnavljanja, ali za to je potreban znatno duži vremenski period nego kod obnovljivih izvora [4]. Obnovljivi izvori se cene prema svojoj sposobnosti pretvaranja u električnu energiju [4]. Republika Srbija sve više koristi obnovljive izvore kako bi se usaglasila sa međunarodnim sporazumima, čak postoji i Nacionalni plan za korišćenje obnovljivih izvora kojim se proverava i prati da li je njihov udeo u skladu sa predviđenim međunarodnim sporazumima.

Kad je reč o potencijalu Republike Srbije, najviše se koristi energija dobijena iz reverzibilnih hidroelektrana. U značajnoj ekspanziji su i energija vetra i solarna energija. Vetroturbina kinetičku energiju vetra pretvara u mehaničku, a nju električni generator u električnu. Danas se vetrogeneratori konstruišu kao niskobrzinski, višepolni, naizmenični asinhroni ili sinhroni i postavljaju se na stubove visine do 180 metara [5]. Rad vetroelektrana je potpuno automatizovan i upravljan daljinskim putem. Treba još napomenuti da više vetrogeneratora na jednom mestu čini vetropark, koji se posmatra kao jedinstvena elektrana.

Energija sunca se može eksploatisati na dva načina. Prvi je da se zagrevanjem vodene pare pokreće parna turbina i sinhroni generator proizvodi električnu energiju. Drugi način se zasniva na fotonaponskom efektu gde se energija sunca direktno pretvara u električnu.

Odredbama Zakona o energetici postoji mogućnost sticanja statusa povlašćenog proizvođača. Taj status mogu dobiti svi energetske subjekti koji u procesu proizvodnje električne energije koriste obnovljive izvore energije, imaju licencu za ovu energetske delatnost, koriste energiju vetra i sunca, koriste objekte sa novom opremom i tako dalje. Ovaj status mogu dobiti kako energetske subjekti, tako i pravna lica. Ali, postoji i mogućnost oduzimanja ovog statusa ukoliko nisu ispunjene obaveze koje su propisane, ako se električna energija proizvodi suprotno uslovima propisanim pri sticanju ovog statusa, ako se pravosnažno ukinu akti na osnovu kojih je doneto ovo rešenje, ali i ako je rešenje o sticanju ovog statusa doneto na osnovu netačnih podataka. Svaki proizvođač sa statusom povlašćenog ima pravo na korišćenje podsticajnih mera, propisanih Zakonom o energetici, ali tek nakon potpisivanja ugovora o otkupu električne energije sa garantovanim snabdevačem.

6. SEEPEx

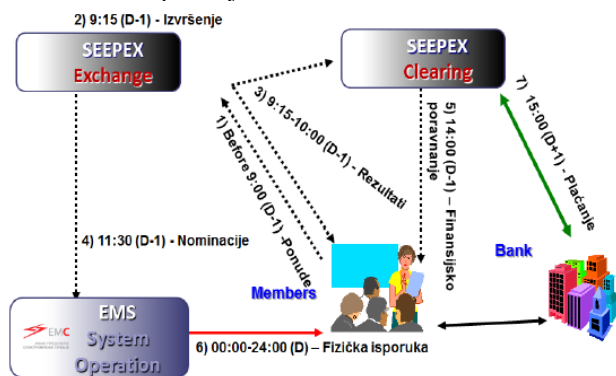
Berza električne energije jugoistočne Evrope ili SEEPEx je 2014. dobio principe funkcionisanja i organizacije u vidu potpisivanja Principa saradnje između JP EMS i Evropske berze električne energije, i to u vlasničkom odnosu 75% naspram 25%. Registrovana je 2015. godine, a naredne godine je počela sa radom.

Neki od glavnih ciljeva osnivanja SEEPEx-a jesu da se obezbedi likvidnost, odgovarajuće pogodnosti za sve učesnike na ovoj berzi, podizanje standarda što bliže berzama iz zapadne Evrope, i drugi.

Komitet predstavlja zvanično telo SEEPEX-a [6]. Osnovni zadaci komiteta su usvajanje pravila i njihovo sprovođenje, odobravanje novih sistema trgovanja, imenovanja tela za nadzor tržišta i tako dalje.

SEEPEX upravlja tržištem sa standardizovanim proizvodima električne energije i isporukom dan-unapred ili unutar dana [1]. Osnovni cilj jeste da se ovi produkti plasiraju tamo gde je to potrebno i primenjivo. Postoje tri faze aukcije: faza poziva koja je otvorena 14 dana unapred

i zatvara se u 9 časova, faza zamrzavanja i to u periodu od 9 časova do 9 časova i 15 minuta, služi za ispravljanje eventualnih grešaka i faza određivanja cena i to u periodu od 9 časova i 15 minuta do 10 časova [1]. Na SEEPEX-u učesnici u okviru faze poziva šalju na berzu dan-unapred ponude. Ove ponude podležu korekciji, odnosno ispravkama u drugoj fazi. To je faza zamrzavanja. Nakon toga, u trećoj fazi, odnosno fazi određivanja cena, dolazi do obrađivanja ponuda i formiranja rezultata aukcije. Odmah nakon toga, oko 10 časova i 25 minuta, ovi rezultati se šalju svim učesnicima, kao i odabranoj kući za kliring i obavljanje finansijskog poravnjenja. Posle toga, oko pola dvanaest se šalju nominacije u EMS. Fizička isporuka vrši se nakon finansijskog poravnjenja, koje se obavlja u 14 časova. Sledećeg dana u periodu od 15 časova se vrši plaćanje.



Slika 6.1 Model trgovanja dan-unapred [1]

Sve ponude na ovoj berzi dostavljaju se na jedno mesto, kako bi se na osnovu ponude i potražnje odredile optimalne cene. Cene koje se dobiju na ovaj način su preciznije od onih cena koje se formiraju na bilateralnom tržištu. Takođe, pravila koja koristi ovo organizovano tržište su javna i ista su za sve učesnike. Time se izbegava diskriminacija bilo kog učesnika ili grupe učesnika na bilo koji način.

7. METODOLOGIJA REGULACIJA CENA

Cene električne energije mogu biti regulisane ili slobodne. Ako je reč o regulisanim cenama, možemo reći da tu spadaju cena pristupa sistemu za prenos, odnosno distribuciju električne energije, cene primarne regulacije, regulacije napona, kao i ostrvskog rada. Cene za garantovano snabdevanje, kao i cene zakupa rezervne energije, odnosno snage, takođe mogu biti regulisane. Pored regulisanih, postoje i slobodne cene. Slobodne jesu cene energenata i usluga koje pružaju energetski subjekti pri izvršavanju različitih energetskih delatnosti. Ove cene su slobodne ukoliko drugačije nije propisano Zakonom o energetici. U skladu sa trenutno važećim Zakonom o

energetici, AERS donosi sledeće metodologije za određivanje cene: pristupa prenosnom sistemu električne energije, pristupa distributivnom sistemu električne energije, neovlašćeno utrošene električne energije i električne energije za garantovano snabdevanje krajnjih potrošača. Ove metodologije se koriste za određivanje: uslova i načina utvrđivanja maksimalne visine prihoda energetskih subjekata, kriterijuma i pravila za raspodelu prihoda na kategorije i grupe kupaca i elemenata za obračun i način obračuna isporučene električne energije [7].

8. SIMULACIJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

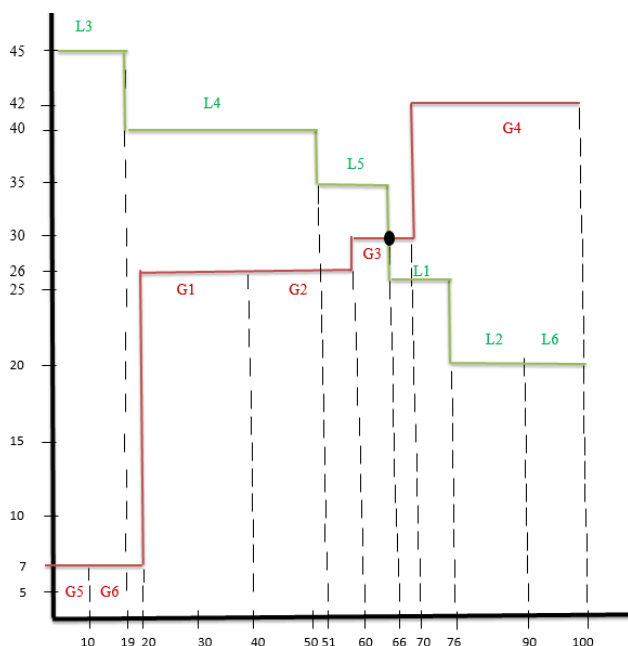
Na osnovu svega što je do sada u ovom radu analizirano i predstavljeno, postavlja se zadatak izvršenja simulacije tržišta električne energije za razmatrani period vremena. Zadatak koji se obrađuje glasi: Potrebno je uraditi grafičku simulaciju tržišta za dati vremenski period, odrediti tržišnu prodajnu cenu (MCP – Market Clearing Price), dispečiranu (ugovorenu) snagu za isti taj razmatrani period vremena. Takođe je potrebno tabelarno navesti generatore i potrošače koji su dobili posao i sa kojom snagom, ali i koliki iznos novca dobijaju svi generatori, odnosno plaćaju svi potrošači koji su dobili posao (za jedan sat i za ceo period). Radi jednostavnosti, dužina razmatranog perioda je jedan sat.

Tabela 8.1 Pregled ponuda generatora i potrošača

Generator	Količina	Cena	Potrošač	Količina	Cena
	MW	€/MW _h		MW	€/MW _h
G1	20	26	L1	10	25
G2	20	26	L2	14	20
G3	10	30	L3	19	45
G4	30	42	L4	32	40
G5	10	7	L5	15	35
G6	10	7	L6	10	20

Na osnovu svih podataka zadatih u gore navedenoj tabeli možemo nacrtati grafik ponude i potražnje električne energije. Na njemu ucrtavamo ponude svih generatora, po cenama prodaje električne energije, kao i ponude svih potrošača, po cenama kupovne električne energije. Svi generatori daju ponude za isporuku. Za svaki razmatrani period tržišta te ponude se slažu u rastućem redosledu formirajući rastuću krivu traženih cena u funkciji kumulativa ponuđenih količina.

Potom svi kupci daju ponudu za kupovinu i za svaki razmatrani period tržišta se od tih ponuda formira opadajuća kriva ponuđenih cena u funkciji kumulativa traženih količina. Na mestu prseka te dve krive nalazi se ravnoteža tržišta koja određuje cenu po kojoj se trguje (u daljem tekstu MCP) i količinu kojom se trguje. Sve ponude generatora manje ili jednake sa MCP, kao i ponude kupaca veće ili jednake sa MCP biće prihvaćene. Plaćanje se vrši prema MCP, bez obzira na tražene odnosno ponuđene cene.



Grafik 8.1 Grafik ponude i potražnje električne energije na Pool Market-u za razmatrani period vremena

Tržišnu cenu određuje generator sa najvećim troškovima angažovanja. U ovom slučaju je to generator G3, te je tržišna cena 30 €/MWh. Svi potrošači kupuju, odnosno svi generatori prodaju električnu energiju po ovoj ceni bezobzira na ponuđene, odnosno tražene cene. Tako sa grafika može da se vidi da je dispečirana snaga 66 MW.

Tabela 8.2 Angažovani generatori i potrošači

Generat ori	Količi na	MCP	Potroša či	Količi na	MCP
	MW	€/M Wh		MW	€/M Wh
G1	20	30	L1	0	30
G2	20	30	L2	0	30
G3	6	30	L3	19	30
G4	0	30	L4	32	30
G5	10	30	L5	15	30
G6	10	30	L6	0	30
Ukupno	66	/	Ukupno	66	/

Posao su dobili svi generatori koji su ponudili cenu manju od MCP i svi potrošači koji su ponudili cenu veću od MCP. Učesnici na tržištu koji su angažovani nisu obojeni. U gore predstavljenoj tabeli su crvenom bojom označeni generatori, odnosno potrošači koji nisu dobili posao. Jedini generator koji nije dobio posao je G4 jer je ponudio cenu koja je veća od MCP. Čak tri potrošača nisu angažovana jer su ponudili cene niže od MCP. To su potrošači L1, L2, L6. Jedan generator, generator G3, je dobio posao ali ne u punom kapacitetu.

Naime, njegov pun kapacitet je 10 MW dok mu je odobrena prodaja samo 6 MW (60% kapaciteta). Ovaj generator je takozvani marginalni generator koji je

ponudio cenu koja je tačno jednaka sa utvrđenom tržišnom cenom.

9. ZAKLJUČAK

Rad je zasnovan na dostupnim podacima relevantnih učesnika, organizatora i bitnih faktora koji čine tržište Republike Srbije. Najbitniji zaključak ovog rada i izlaganje ukazuje na konstantnu tendenciju ka usavršavanju i napredovanju tržišta električne energije.

Ona se pre svega uočava kroz članstvo u mnogobrojnim međunarodnim organizacijama u kojima Republika Srbija, odnosno tela koja je predstavljaju, ima izuzetno aktivnu ulogu. Na taj način se stiče neophodno iskustvo i sakupljaju mnogobrojni korisni saveti u cilju podizanja tržišta električne energije Republike Srbije na jedan viši i još profesionalniji nivo.

10. LITERATURA

- [1] „Elektroprivreda u uslovima slobodnog tržišta“, Drugo korigovano i dopunjeno izdanje, Nenad Katić, Novi Sad, 2016. godina
- [2] <https://www.aers.rs> – Izveštaj AERS za 2018. godinu
- [3] <https://www.aers.rs> – Zakon o energetici Republike Srbije („Službeni glasnik“, br. 145/14 i 95/18)
- [4] „Obnovljivi izvori električne energije uz primenu digitalnih tehnologija“ ppt prezentacije, prof. Vladimir Katić, FTN, Novi Sad, 2018. godine
- [5] Beleške profesora Andrije Sarića za predmet Eksploatacija EES
- [6] <http://seepex-spot.rs/sr/> – sajt Berze električne energije jugoistočne Evrope
- [7] <https://www.aers.rs> – Regulacija cena električne energije

Kratka biografija:



Vanja Desančić rođen je u Rumi 1996. godine. Srednju školu gimnaziju "Stevan Puzić" završio je u Rumi, 2015. godine. Fakultet tehničkih nauka, studijski program Energetika, elektronika i telekomunikacije upisao je školske 2015/2016. godine i diplomirao na osnovnim akademskim studijama 2019. godine. Upisao master akademske studije 2019. godine, smer Elektroenergetika - distribuirani elektroenergetski resursi i diplomirao 2020. godine.



Nenad Katić rođen je u Novom Sadu 1959. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2002. godine. Radio je u JP Elektrovojvodina, Siemens d.o.o. Beograd. Od oktobra 2006. godine zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Trenutno je vanredni profesor. Učestvovao je u realizaciji međunarodnih projekata, objavio veliki broj knjiga i naučnih radova.

PROCES HARMONIZACIJE DNEVNIH PLANOVA RADA EES U OKVIRU EVROPSKE INTERKONEKCIJE**DAY AHEAD SCHEDULING PROCESS WITHIN EUROPEAN INTERCONNECTION**Sanja Marinković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je predstavljena analiza funkcionisanja i razvoj sistema za prijavu dnevnih planova rada (ESS – ENTSO-E Scheduling System). Pored detaljnog opisa načina kreiranja i značaja dnevnih planova rada, u radu je predstavljen i razvoj tržišta električne energije, kako u Evropi, tako i u Srbiji. Rad se bavi i načinom na koji se sprovode aukcije za raspodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta, procesom kreiranja izveštaja, i dokumenata koji se razmenjuju na Verifikacionoj platformi, u cilju uspešno završenog procesa dan unapred.

Glavne reči: ENTSO-E, scheduling, dnevni plan rada, tržište, aukcije, kapacitet, Verifikaciona platforma, izveštaj

Abstract – The paper presents an analysis of the functioning and development of a system for day ahead trading (ESS – ENTSO-E Scheduling system). In addition to a detailed description of the way of creating and the importance of day ahead schedules, the paper also presents the development of the electricity market, both in Europe and in Serbia. The paper also deals with the way in which auctions for the allocation of cross-border transmission capacities are conducted, the process of creating reports, and the documents that are exchanged on the Verification Platform, in order to successfully complete the Day Ahead process.

Keywords: ENTSO-E, scheduling, day ahead schedules, market, auctions, capacity, Verification Platform, report

1. UVOD

Krajem prošlog veka na tržištu električne energije postojao je monopol, čija je posledica bila neprihvatljivo velika cena električne energije koju je plaćao kupac. Cilj unapređenja tržišta je ukinuti monopol, tj. stvoriti konkurentno tržište.

Liberalizacijom tržišta i uvođenjem konkurentnog tržišta je uslovljeno potrebu da se donesu jasna i standardizovana pravila u cilju efikasnog funkcionisanja tržišta električne energije. Pravila koja su doprinela tome jesu *Pravila o radu prenosnog sistema* i *Pravila o radu tržišta električne energije*.

NAPOMENA:

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

Radi sigurnijeg rada regionalne grupe Kontinentalna Evropa (RGCE – *Regional Group Continental Europe*), i stvaranja pogodnosti za komercijalnu trgovinu električnom energijom, potrebno je unapred planirati sve prekogranične razmene po interkonektivnim dalekovodima između operatora prenosnih sistema.

U skladu sa promenom tržišta i donetim pravilima, dolazi i do razvoja sistema za prijavu dnevnih planova rada (ESS – ENTSO-E Scheduling System), čije je funkcionisanje predmet ovog rada.

Ovaj rad će proći kroz sve potrebne segmente za izradu dnevnih planova rada i procesom harmonizacije dnevnih planova rada, kao i kroz nastanak i razvoj tržišta električne energije u Evropi i Srbiji. Baviće se načinom na koji se sprovode aukcije za raspodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta, izveštajima koji se kreiraju nakon završetka harmonizacije dnevnih planova rada, i motivacijom za uvođenje Verifikacione platforme i njenim načinom rada.

2. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prilikom trgovanja na tržištu, kupac i prodavac moraju da dogovore količinu i kvalitet robe, cenu, datum isporuke, način i mesto isporuke, način plaćanja, kao i eventualne druge uslove vezane za posao. Način na koji kupci i prodavci rešavaju ove stvari definišu tipove tržišta. Tipovi tržišta mogu biti:

- 1) *Bilateralno* tržište: kupac i prodavac direktno se međusobno dogovaraju oko svih elemenata trgovine, koji ostaju poslovna tajna između strana.
- 2) *Berza* ili *upravljano* tržište: operator organizuje mesto za trgovanje pod određenim pravilima pristupa (licenca, minimalna količina trgovanja, finansijski depozit), cena i količine su javni, dok identitet učesnika nije poznat.
- 3) *Centralno* tržište: Cenu određuje berza i prodavci su u obavezi da prihvate cenu u transakcijama.
- 4) *Balansno* tržište: Operator prenosnog sistema ima ključnu ulogu u liberalizaciji tržišta sistemskih (pomoćnih) usluga, čija je cena regulisana, i omogućavanju postojanja većeg broja snabdevača za pomoćne usluge.

Početak jednog od najvećeg projekta evropskih integracija započet je 23.05.1951. godine. Uloga ovog projekta je bila da se doprinese razvoju ekonomije kroz efikasnije korišćenje energetske resursa, koje je omogućavalo međusobno povezivanje elektroenergetskih sistema. Sa što većom povezanošću Zapadne Evrope, osnovano je UCPTE (*Union for the Co-ordination of Production and*

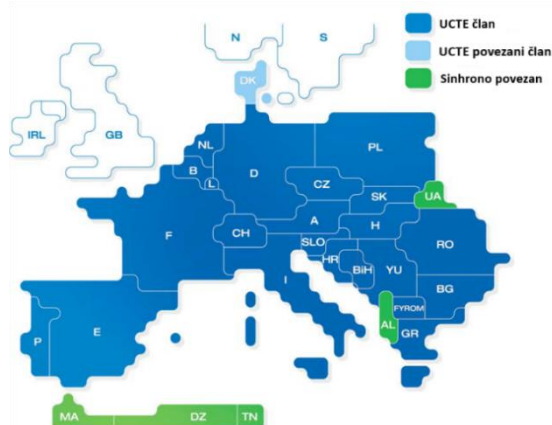
The circular map shows Europe divided into six regions, each with a unique color and a label around the perimeter:

- North Sea** (Light Blue): Includes the United Kingdom (GB), Ireland (IE), and Iceland (IS).
- Baltic Sea** (Dark Blue): Includes Sweden (SE), Finland (FI), Estonia (EE), Latvia (LV), and Lithuania (LT).
- Continental Central East** (Purple): Includes Poland (PL), Czech Republic (CZ), Slovakia (SK), Hungary (HU), Romania (RO), Bulgaria (BG), and Ukraine (UA).
- Continental Central South** (Dark Blue): Includes Germany (DE), France (FR), Switzerland (CH), Austria (AT), Italy (IT), Slovenia (SI), and Greece (GR).
- Continental South East** (Light Blue): Includes Turkey (TR), Cyprus (CY), and parts of the Balkans.
- Continental South West** (Dark Purple): Includes Spain (ES) and Portugal (PT).

Legend:

- Isolated Systems (Orange square)
- Additional Contributing Control Areas (Grey area)

Devedesetih godina dolazi do razdvajanja proizvodnih, prenosnih i distributivnih usluga u cilju obezbeđivanja fer i nediskriminatornog pristupa mreži svim korisnicima, a samim tim i uspostavljanje konkurentnog tržišta. To je dovelo do toga da 1999. godine UCTPE promeni svoj naziv u **UCTE** (*Union for the Coordination of Transmission of Electricity*) - Unija za koordinaciju prenosa električne energije. Ova grupa je bila usredsređena na postavljanje tehničkih pravila. Sva postojeća pravila bila su zamenjena UCTE Operativnim priručnicima - *UCTE Operation Handbook*, koji sadrže anekse kojim se opisuje princip rada i pravila za operatore prenosnih sistema u kontinentalnoj Evropi. Cilj ovih priručnika je da pruže podršku tehničkom upravljanju povezanom mrežom sinhronih oblasti.



Spajanjem četiri institucije (NORDEL, UKTSOA, ATSOI, BALTSO) 1. jula 1999. godine osnovana je **ETSO** (*European Transmission System Operators*) zajednica, tj. Asocijacija Operatora prenosnih sistema Evrope, sa ciljem da pouzdanost sistema treba da bude najviši prioritet u postojećem sinhronom sistemu kao stub za panevropske integracije i dalji razvoj panevropskog tržišta električne energije.

Legend:

- RG Continental Europe
- RG Nordic
- RG Baltic
- RG UK
- RG Ireland

Map showing the distribution of the five largest ethnic groups in the EU by country. The map uses a color-coded legend to represent the groups: RG Continental Europe (dark blue), RG Nordic (purple), RG Baltic (maroon), RG UK (teal), and RG Ireland (brown). Countries are labeled with their ISO codes.

Reforma energetskog sektora u Srbiji započeta je 2004. godine usvajanjem prvog Zakona o energetici. Zakonom se u velikoj mjeri poboljšava ambijent za investicije u energetski sektor, kao i veća zaštita kupaca. Sa ovim zakonom je osnovana Agencija za energetiku Republike Srbije (AERS), kao nezavisno regulatorno telo za obavljanje poslova na unapređivanju i usmeravanju razvoja tržišta električne energije na principa nediskriminacije i efikasne konkurencije, pružanju primene propisa i pravila za rad energetskih sistema.

- 1) Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“ (JP EPS), vrši delatnost proizvodnje, trgovine i distribucije električne energije,
- 2) „Elektromreža Srbije“ AD Beograd (EMS AD), bavi se delatnošću prenosa električne energije i upravljanjem prenosnim sistemom.

Uvođenje eksplicitnih aukcija 2007. godine se smatra prvim korakom ka otvaranju tržišta električne energije.

132

3. AUKCIJE ZA RASPODELU PREKOGRANIČNIH PRENOSNIH KAPACITETA

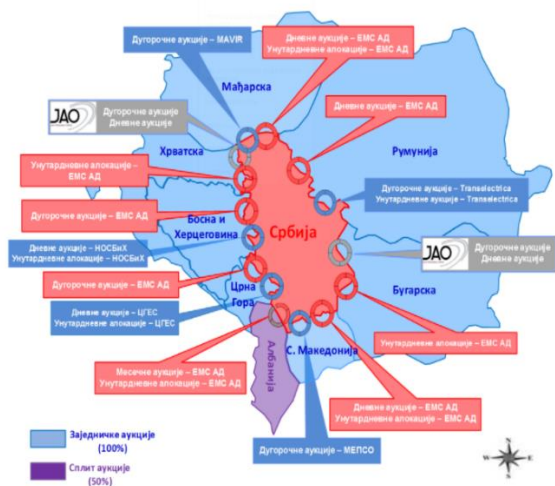
Operator prenosnog sistema, uz saglasnost Agencije za energetiku, donosi Pravila za raspodelu prekograničnih prenosnih kapaciteta, čime se uređuju postupak i način raspodele prava na korišćenje prekograničnih prenosnih elektroenergetskih kapaciteta.

Tipovi kapaciteta se mogu podeliti u dve velike grupe:

- 1) Dugoročni (*long-term*): godišnji, mesečni, nedeljni i total,
- 2) Kratkoročni (*short-term*): dnevni i unutardnevni.

Postoje dva načina organizovanja aukcija, tj. postoje dve vrste aukcija:

- 1) *Joint* aukcije: Mađarska, Rumunija, Bugarska, Severna Makedonija, Crna Gora, Hrvatska, Bosna i Hercegovina
- 2) *Split* aukcije: Albanija [2]



Slika 5. Načini sprovođenja aukcija [2]

4. PROCES HARMONIZACIJE DNEVNIH PLANOVA RADA

Scheduling proces podrazumeva proces prijave dnevnih planova rada balansnih grupa na vremenskom horizontu dan unapred i unutar dana. Učesnici prijavljuju planove rada u skladu sa Pravilima o radu prenosnog sistema i Pravilima o radu tržišta električne energije.

Pravo pristupa *Scheduling* sistemu se stiče dobijanjem licence od Agencije za energetiku Republike Srbije, dobijanjem EIC koda, potpisivanjem ugovora o Balansnoj odgovornosti sa EMS AD i dobijanjem tokena za pristup *Scheduling* sistemu.

Scheduling sistem koji operator prenosnog sistema Srbije, tj. EMS AD koristi je *Novita*. Sistem podržava odvojene *long-term* i *short-term* nominacione cikluse. Svaki nominacioni ciklus se završava jednim ili više harmonizacionim ciklusima.

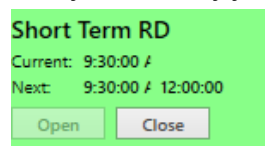
Učesnik na tržištu može da prijavljuje u *Scheduling* sistem:

- 1) Plan razmene za dan D u danu D-1,
- 2) Plan ukupne proizvodnje za dan D u danu D-1,
- 3) Plan ukupne potrošnje za dan D u danu D-1.

Scheduling sistem šalje trgovcima sledeće poruke:

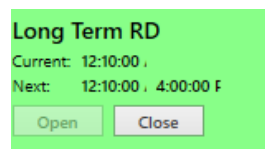
- 1) ACK – *Acknowledgment* (potvrda o prijemu i verifikaciji),
- 2) CNF – *Confirmation Report* (izveštaj o prihvatanju dostavljenih dnevnih planova rada),
- 3) ANO – *Anomaly Report* (izveštaj o nepravilnosti dostavljenih planova rada).

Kapija za prijavljivanje *short-term* kapaciteta se u sistemu naziva *Short Term RD* i otvara se na svim granicama u danu D-1 u 09:30h, a zatvara se za granice na kojima se obavljaju *joint* aukcije u 11:00h (D-1), odnosno u 12:00h (D-1) za granice na kojima se obavljaju *split* aukcije.



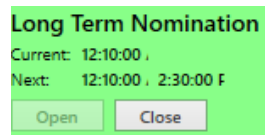
Slika 6. Kapija za prijavljivanje *short-term* kapaciteta [3]

Kapija za prijavljivanje *long-term* kapaciteta se u sistemu zove *Long Term RD* i otvorena je na svim granicama do 16h u D-2 za dan D.



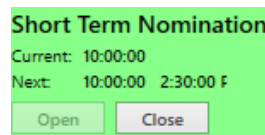
Slika 7. Kapija za prijavljivanje *long-term* kapaciteta [3]

U periodu od 00:10h (D-7) do 08:00h (D-1) otvorena je, na granicama na kojima se sprovode *joint* aukcije, kapija za prijavljivanje planova rada po dugoročnim kapacitetima, koja se u sistemu naziva *Long Term Nomination*.



Slika 8. Kapija za prijavljivanje planova rada po *long-term* kapacitetima [3]

U periodu od 10:00h (D-1) do 14:30h (D-1) otvorena je i kapija za prijavljivanje planova po *short-term* kapacitetima. Kapija za prijavljivanje planova po *long-term* kapacitetima na Albaniji je otvorena do 14:30h (D-1) zato što se usaglašavanje dnevnih planova rada vrši u nominacionom ciklusu po *short-term* kapacitetima.



Slika 9. Kapija za prijavljivanje planova rada po *long-term* kapacitetima [3]

Dokumenti koji se razmenjuju u nominacionim ciklusima su:

- 1) CAS – plan razmene između dve regulacione oblasti (sadrži sve transakcije svih trgovaca u određenoj oblasti),
- 2) ACK,
- 3) CNF,
- 4) CAX – program razmene članice kontrolnog bloka koji sadrži sve netovane razmene po svakoj granici regulacione oblasti.

Na početku svakog nominacionog ciklusa (u 08:00h (D-1) i 14:30h (D-1)) sistem Novita kreira lokalni CAS, koji se šalje susednom operatoru, i nakon dobijanja pozitivnog *Acknowledgment*-a, nastavlja se dalji proces harmonizacije dnevnih planova rada, odnosno usaglašavanja vrednosti našeg i susednog CAS fajla. U slučaju da postoji neusaglašenost između razmenjenih planova razmene, inženjer korišćenjem *Scheduling sistema* utvrđuje koji je učesnik na tržištu odgovoran za tu razliku, i kontaktira je da bi utvrdio da li su ispravni podaci u našem ili u sistemu susednog operatora. Tom učesniku se prosleđuje token za izmenu prijavljenog dnevnog plana.

Nakon uspešno završenog nominacionog ciklusa po *short-term* kapacitetima, koji počinje u 14:30h (D-1), inženjer kreira CAX. EMS AD, kao i operator SMM kontrolnog bloka, proverava da li je *Scheduling sistem* primio CAX od članica kontrolnog bloka (Crna Gora (CGES) i Severna Makedonija (MEPSO)).

Proces harmonizacije je isti [4].

5. REZULTATI

Proces harmonizacije podrazumeva proveru usklađenosti dnevnih planova rada sa Pravilima o radu prenosnog sistema i Pravilima o radu tržišta električne energije u pogledu izbalansiranosti plana i prijave internih blokova razmene, postizanje identičnih vrednosti planova razmene sa susednim operatorom prenosnog sistema za svaki blok prekogranične razmene i program razmene unutar kontrolnog bloka.

6. IZVEŠTAJI DNEVNOG PLANA RADA

Nakon zatvaranja procesa dan unapred, inženjer kreira dnevnih plan rada prenosnog sistema koristeći makro. Sam proces je automatizovan i nakon kreiranja izveštaja, potrebno je uporediti validnost podataka dnevnih planova rada sa *Scheduling sistemom*. Ovaj izveštaj je, pre svega, potreban za primopredaju smene Regionalnog dispečerskog centra.

7. VERIFIKACIONA PLATFORMA

Verifikaciona platforma predstavlja nov način razmene podataka u ENTSO-E regionalnoj grupi Kontinentalna Evropa, koja objedinjuje programe rada evropskih operatora sistema.

Cilj platforme je usavršiti način komunikacije sa operatorima sistema i regulacionih blokova i omogućiti lakši pristup neophodnim podacima. Nemački i Švajcarski operatori *Amprion* i *Swissgrid* su odgovorni za prijem svih programa razmene u ENTSO-E regionalnoj grupi Kontinentalna Evropa.

Motivacija za uvođenje Verifikacione platforme je napuštanje principa rada po UCTE piramidi i smanjivanje broja fajlova koji se razmenjuju. Platformom se obezbeđuju precizniji ulazni podaci za analizu sigurnosti elektroenergetskog sistema, kao i sam razvoj tržišta i tržišnih funkcija koje obuhvataju prekograničnu razmenu sekundarne i tercijarne regulacije.

Fajlovi koji se razmenjuju su svrstani u fajl SAX (*Aggregated netted external schedules*), koji može sadržati:

- 1) Komercijalne razmene u dan unapred i unutar-dnevnom proces (MDA – *Market Day ahead*, MID – *Market Intraday*),
- 2) Razmene operatora prenosnih sistema u dan unapred i unutar-dnevnom procesu (TDA – *TSO Day ahead*, TID – *TSO Intraday*), i
- 3) Kompenzacione programe (*Compensation Program*), koji pokrivaju neželjena odstupanja operatora sistema i bloka.

8. ZAKLJUČAK

Promene u razvoju tržišta električne energije u celoj Evropi su svakodnevne i snažne. Osnovni cilj liberalizacije tržišta električne energije je bio i jeste, podizanje efikasnosti elektroenergetskog sektora, pre svega radi povećanja konkurentnosti. Od liberalizacije tržišta električne energije očekivalo se sniženje cene električne energije, smanjivanje razlike u cenama između država, kao i mogućnost biranja snabdevača. Zacrtni ciljevi još uvek nisu postignuti, ali se nezaustavljivo ide ka njihovom ostvarenju u najvećem delu sveta.

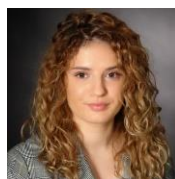
U Srbiji, tržište za dan unapred se svakodnevno razvija. U operatoru prenosnog sistema Srbije, kada govorimo o procesu harmonizacije dnevnih planova rada očekuju se novine u radu samog sistema, u cilju automatizacije i bržeg i lakšeg zatvaranja procesa za dan unapred.

Evropska interkonekcija ENTSO-E prolazi kroz značajne i neviđene brze promene, čime se otvaraju vrata za nove mogućnosti, što je predviđeno Četvrtim energetske paketom, koji za cilj ima povećanje korišćenja obnovljivih izvora i smanjenje emisije štetnih gasova.

9. LITERATURA

- [1] *The 50 Year Success Story – Evolution of a European Interconnected Grid*, Publisher: Secretariat of UCTE (pristupljeno u septembru 2020.)
- [2] <https://ems.rs/media/uploads/2020/Prezentacije/-01%20Prezentacija%20Alokacije%20i%20Garancije%20porekla%202020.pdf> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [3] Program Novita (pristupljeno u septembru 2020.)
- [4] *Procedura izrade dnevnog plana rada elektroenergetskog sistema u procesu dan unapred*, Jadranka Janjanin, dipl.inž.el., novembar 2015. (pristupljeno u septembru 2020.)
- [5] Policy 2: Scheduling and Accounting, RG CE, 2018.

Kratka biografija:



Sanja Marinković rođena je u Čupriji 1995. god. Srednju školu Gimnazija završila je u Čupriji 2014. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektroenergetika – Elektroenergetski sistemi odbranila je 2019. godine.

ПРЕДИКЦИЈА ОСПОСОБЉЕНОСТИ ЗА ХОД НАКОН АМПУТАЦИЈЕ ДОЊИХ ЕКСТРЕМИТЕТА УЗ ОСЛОНАЦ НА АЛГОРИТМЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**PREDICTION OF WALKING ABILITY WITH A PROSTHESIS IN LOWER LIMB AMPUTEES BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS**Јована Арсеновић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – *Тема овог рада јесте предикција способности за ход уз помоћ протезе након ампуације доњих екстремитета, уз ослонац на алгоритме вештачке интелигенције. У оквиру рада имплементиран је предиктивни модел функционалне способности пацијента након рехабилитационог третмана применом SVM методом машинског учења. Тестирана су различита обележја, методом стабла одлуке, са циљем постизања што веће тачности модела*

Кључне речи: *предикција, SVM алгоритам, стабла одлуке, ампуација, рехабилитација*

Abstract – *The topic of this paper is prediction of ability to walk with prosthesis after lower limb amputation, based on artificial intelligence algorithms. The paper describes the implementation of a predictive model for amputees walking ability after prosthetic rehabilitation treatment using SVM method. Different features are tested by decision tree method, in order to maximize model accuracy.*

Keywords: *prediction, SVM algorithm, decision tree, amputation, rehabilitation*

1. УВОД

Ампутација доњих екстремитета је хируршки процес који се спроводи ради уклањања исхемичног, инфичираног, некротичког ткива или локалног тумора када није могућа ресекција [1]. У свету се на сваких 30 секунди изврши ампуација ноге, процена је Светске здравствене организације и Међународне дијабетолошке федерације, док се према подацима Клиничког центра Војводине [1] у овој установи, у просеку годишње ураде 124 ампуације ноге изнад нивоа скочног зглоба. Како кретање представља основну потребу човека, а ход примарни начин кретања људи, главни циљ рехабилитационог процеса јесте поновно успостављање ове функције. Протетичка рехабилитација пружа велики потенцијал за побољшање свеобухватног стања и квалитета живота особа са ампуацијом.

Протезе за доње екстремитете, које би надоместиле физичкинедостатак и омогућиле функционаланход,

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Мирна Капетина, доцент.

тренутно представљају најефикаснији начин за помоћ особама са ампуацијом. Међутим, фабрикација надокнаде и пратећа протетичка рехабилитација су веома дуг и скуп процес а некада примена протезе не доводи до побољшања мобилности и квалитета живота пацијента па је због тога потребно предвидети исход потенцијалног рехабилитационог третмана.

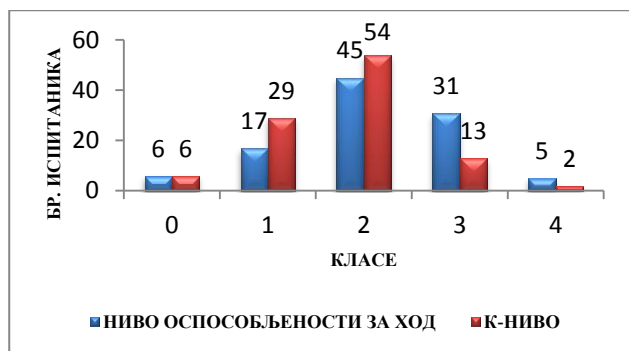
Главни задатак овог истраживања био је да се направи алат, уз помоћ алгоритама базираних на методама машинског учења (енгл. machine learning), који би се могао што раније применити, како би се направила што боља предикција исхода рехабилитације пацијената са ампуацијом, односно предикција К-нивоа, нивоа оспособљености за ход, теста двоминутног хода и теста устани и крени. Да би предикција била што успешнија потребно је идентификовати параметре предикције, односно оне факторе који утичу на оспособљеност за ход уз помоћ протезе.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПОДАЦИ

У раду је анализиран утицај различитих параметара на предикцију успешности рехабилитационог третмана пацијената са ампуацијом. Подаци су прикупљени у Клиничком центру Војводине у периоду између 2010. и 2012. године. У истраживању је учествовало 104 пацијента, различитог пола и старости ($62,0 \pm 10,9$ година). Критеријум за укључивање пацијената у истраживање био је унилатерална ампуација доњих екстремитета изнад нивоа скочног зглоба пацијената који су први пут снабдевени протезом. Сваки пацијент дао је писмени информативни пристанак на учешће у овом истраживању. Студија је добила сагласност за спровођење од стране Етичке комисије Клиничког центра Војводине и Медицинског факултета у Новом Саду.

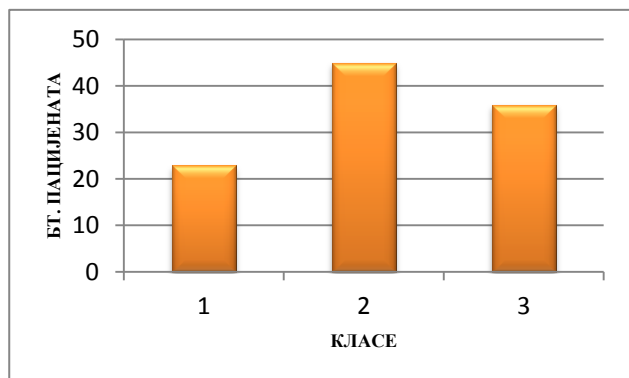
2.1. Балансираност скупа података

Као што је споменуто, у истраживању је учествовало 104 пацијента, а њихова расподела према класама за категорије К-ниво и ниво оспособљености за ход приказана је на слици 1. Са графика се може видети да је разлика у броју испитаника међу класама веома велика, код обе категорије. Алгоритми машинског учења имају тенденцију да фаворизују класу са највећим уделом испитаника [2], тако да оваква пропорционалност може бити посебно проблематична када нас занима тачна класификација мањинских класа, као што су класе 0 и 4.



Слика 1. Расподела испитаника према класама за категорије К-ниво (црвена) и ниво оспособљености за ход (плава).

Ниво оспособљености за ход је скала која се користи на Клиници за рехабилитацију Клиничког центра Војводине за предикцију исхода рехабилитационог третмана. Како је број пацијената чији је исход означен нивоом 2 највећи, да би се смањила неуравнотеженост броја испитаника по класама, извршена је модификација скале и предложена је њена употреба за даљу клиничку праксу (слика 2).



Слика 2. Модификоване класе нивоа оспособљености за ход.

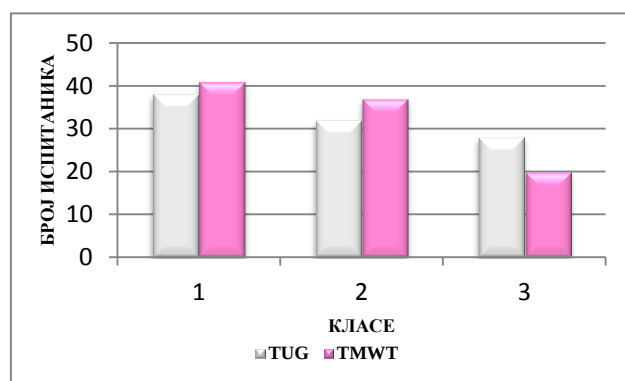
Нови исход рехабилитације дефинисан је као тростепена способност хода уз помоћ протезе.

Ниво 1 представљао би немогућност самосталног хода уз помоћ протезе или строго ограничен ход на веома кратким релацијама (ход у кућним условима), односно, сама протеза не би значајно побољшала мобилност пацијента, нити његов квалитет живота. Након модификације, овој групи припадало је 23 пацијента.

Ниво 2 би представљао пацијенте који би имали могућност хода на релацијама који би биле и изван куће али уз значајна ограничења, док би пацијенти нивоа 3 били оспособљени за ход на дугим релацијама, уз минимална или чак без ограничења. Овим групама припадало је 45, односно 36 пацијената, респективно. Што се тиче К-нивоа, 35 пацијената припадало је класи К0 или К1, 54 испитаника класификовано је у ниво К2, док је 13 пацијената припадало нивоима К3 или К4.

На основу вредности теста двоминутног хода и теста устани и крени, формиране су категорије у које су сврстани пацијенти. Уколико би пацијент за време

двоминутног теста прешао мање од 25 метара, припадао би класи ТМWT1. У случају да би пацијент прешао између 25 метара и 55 метара класификован би био као ТМWT2, а уколико би прешао више од 55 метара – ТМWT3. Што се тиче теста устани и крени, 28 пацијента је завршило тест за мање од 30 секунди и сврстано је у класу ТUG3. 32 пацијента класификовано је у ТUG2 (између 30 секунди и 60 секунди неопходних за тест), док је њима 38 било потребно више од 60 секунди за завршетак теста. Ови подаци су графички приказани на слици 3.



Слика 3. Расподела испитаника за тест устани и крени (TUG) и тест двоминутног хода (TMWT).

Модификацијом класа јесте смањена разлика између броја пацијената по класама али је и даље постојала разлика која би могла узроковати фаворизацију класе са највећим уделом. Због тога је одлучено да се балансираност постигне методом понављања на случајан начин неког узорка.

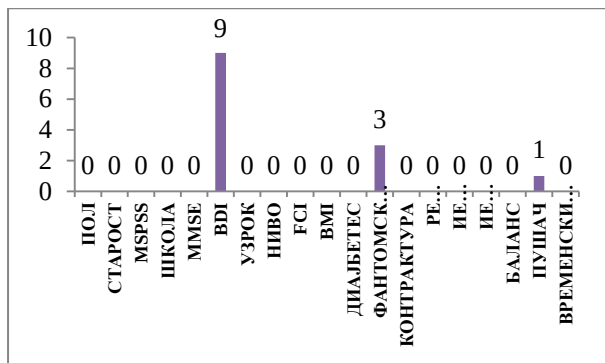
2.2. Недостајући подаци

Истраживање које је спроведено у Клиничком центру Војводине, реализовано је као проспективна студија случаја, што је допринело томе да има веома мали проценат недостајућих података. Од 19 параметара, којима су описивани пацијенти, само код 3 параметра јављају се недостајући подаци (слика 4). Један од најпопуларнијих начина решавања ове проблематике, тако да се сачува бројност узорака, јесте да се недостајући подаци замене узорачком средњом вредношћу или модом [3].

Међутим, на овај начин се умањује варијабилност података (варијанса) и процене коваријансе и корелације у подацима (јер се игнорише однос између варијабилности), уколико је процентуално велику удео недостајућих података.

Због малог броја недостајућих података, сматрано је да неће бити утицаја на варијабилност и корелацију података, уколико исте заменимо средњом вредношћу датог обележја.

Код категорија означених као тест устани и крени и двоминутни тест хода, 6 пацијената није имало записане резултате ових тестова, тако да је предикција ових категорија рађена над 98 случајева.

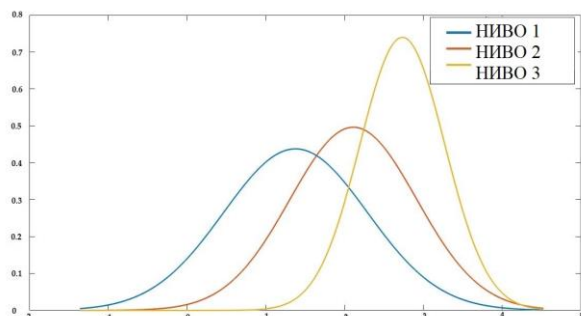


Слика 4. Расподела недостајућих података према параметрима.

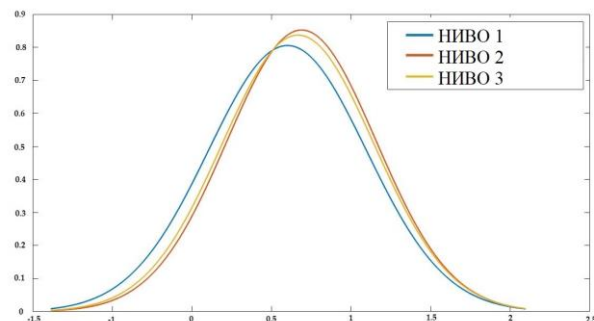
3. ИЗБОР ОБЕЛЕЖЈА

Један од проблема који се увек јавља приликом класификације је тзв. проблем одабира обележја, односно предикционих параметара. Избор адекватних обележја има кључни утицај, не само на квалитет, већ и на ефикасност класификације [2]. Димензије употребљеног скупа параметара утичу на дужину времена извршавања и количину употребљеног меморијског простора. Два основна приступа смањењу димензионалности су одабир обележја и издвајање обележја. Одабир (селекција) обележја подразумева бирање битнијих (дискриминантних) обележја. То се постиже различитим техникама.

Најједноставнији начин за испитивање дискриминантности обележја јесте преко Гаусових кривих. На сликама 5 и 6 приказане су Гаусове криве за нека од понуђених обележја.



Слика 5. Гаусове криве за обележје баланс



Слика 6. Гаусове криве за обележје фантомски бол

Са слике 6 може се закључити да обележје фантомски бол није дискриминантно. Средња вредност обележја у свакој класи (приказане на апсиси) имају сличне вредности. Такође, вероватноће овог обележја по класама, чије се вредности читају на ординати

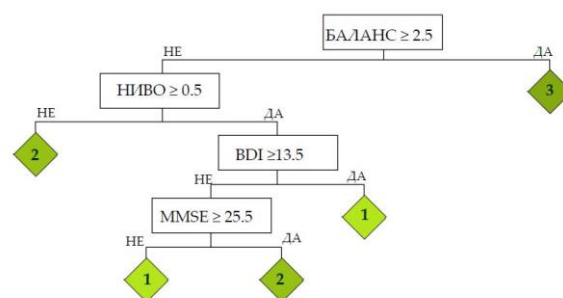
графика, су веома сличне. За разлику од овог обележја, обележје баланс представљао би дискриминантно обележје. Обележје баланс било би добро обележје за идентификацију пацијената код којих би рехабилитациони третман био веома успешан.

Међутим, мана ове технике јесте то што се одабир обележја врши визуелним прегледом Гаусових кривих, и некада нисмо сигурни да ли неко обележје треба да прогласимо дискриминантним или не. Због тога су потребне додатне технике за селекцију обележја, које би потврдиле овакав избор.

3.1. Стабла одлуке

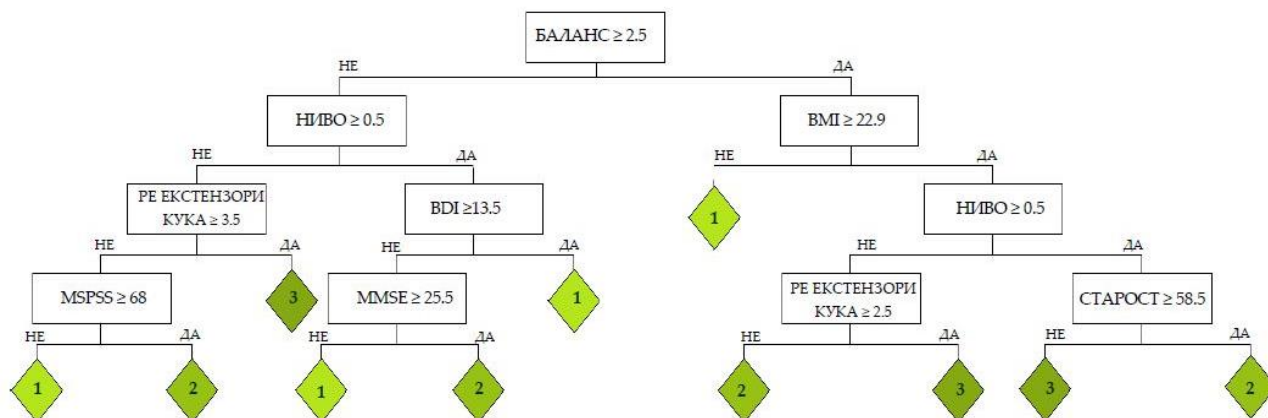
Стабла одлуке су због своје систематске структуре једноставна и разумљива за људе. Одговор на питање зашто је донета нека одлука се добија издвајањем пута од припадајућег листа до корена, при чему се из сваког чвора чита разлог парцијалног избора. Такође, сваком стаблу одлуке се једнозначно може приписати скуп правила: ако - онда (*if - then*), која су основни градивни блокови база знања експертских и других система заснованих на знању.

Стабла одлуке врше класификацију узорака у две или више класа на основу вредности параметара, којима су узорци описани, пропуштајући их низ стабло од корена ка листовима. На самом почетку се бира параметар чија вредност најбоље дели расположиве узорке. Анализом базе података, алгоритам је проценио да је најбитније обележје баланс. На слици 7 може се видети да се помоћу обележја баланс лако могу издвојити пацијенти чији би исход рехабилитације био максималан (што је уједно и потврда за Гаусову криву са слике 5). Овакво стабло служи да истакне значајност обележја баланс.



Слика 7. Стабло одлуке као показатељ значајности обележја баланс.

На слици 8 приказано је стабло одлуке за категорију ниво оспособљености за ход. Обележја које је стабло издвојило су: баланс, ниво ампутације, старост, индекс телесне масе, мишићна снага екстензора кука резидуалног екстремитета, Скала за брзу процену менталног статуса и Бекова скала депресивности.



Слика 8. Стабло одлуке за категорију ниво оспособљености за ход

За предвиђање К-нивоа и тестова хода, на основу њихових стабла одлуке, за класификацију потребно је додати параметре мишићне снаге екстензора кука и плантарног флексора интактног екстремитета.

4. РЕЗУЛТАТИ

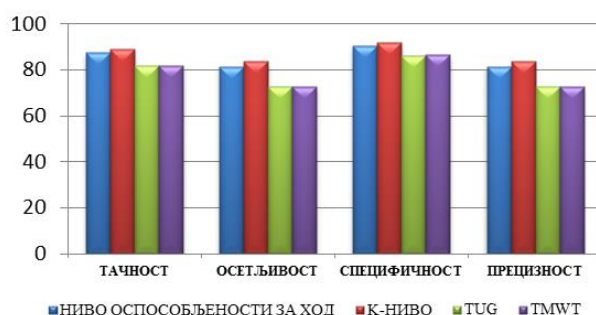
Обележја изабрана од стране стабла одлуке прослеђена су SVM (енгл. *support vector machine*) класификатору, који у простору у коме су подаци представљени налази раздвајајуће хипер-равни на основу који сврстава узорке у одређену класу.

Да би се представила успешност класификационог модела, уобичајено се користе стандардизоване мере и оцене којима се квантификује рад конструисаног система за класификацију и предикцију. Мера квалитета представља потенцијал модела да коректно предвиди класу новог податка. Матрица конфузије (енгл. *confusion matrix*) представља детаљан и прегледан начин да се тај потенцијал прикаже. Табела 1 представља матрицу конфузије за категорију ниво оспособљености за ход.

Табела 1. Матрица конфузије нивоа оспособљености за ход

		ПРЕДВИЂЕНЕ ВРЕДНОСТИ		
		1	2	3
ПРАВЕ ВРЕДНОСТИ	1	50	4	0
	2	7	38	9
	3	0	6	48

На основу вредности података из матрице конфузије лако се могу одредити и други показатељи успешности предикције (слика 9). Највећа тачност предикције постиже се за категорију К-ниво, 89,30%.



Слика 9. Мере за евалуацију класификатора.

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је извршена идентификација параметара за предикцију оспособљености хода након ампутације. Класификациони модели показали су велику тачност, па се поменути модели предлажу за даљу клиничку употребу.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Кнежевић, *Фактори који утичу на ниво оспособљености за ход уз помоћ протезе након ампутације доњих екстремитета*, Нови Сад, Медицински факултет, 2014.
- [2] М. Kuhn, К. Johnson, *Applied Predictive Modeling*, New York, Springer, 2013.
- [3] В. Црнојевић, *Препознавање облика за инжењере*, Нови Сад, Факултет техничких наука, 2014.

Кратка биографија:



Јована Арсеновић рођена је 1996. године у Новом Саду. 2015. године уписује Факултет техничких наука, смер Биомедицинско инжењерство. Мастер академске студије наставља на смеру Аутоматика и управљање система. Аутор и коаутор је два научна рада саопштена на скуповима међународног значаја.
контакт: arsenovic.jovana@gmail.com

UREĐAJ ZA DETEKCIJU I OBRADU PODATAKA LJUDSKOG HODANJA**HUMAN GAIT DETECTION AND ANALYSIS DEVICE**Željko Popović, Marija Antić; *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA**

Kratak sadržaj – U ovom radu je opisana realizacija uređaja za detekciju i obradu podataka ljudskog hodanja. Realizovan je funkcionalan prototip koji je u mogućnosti da izmeri količinu opterećenja na svojoj površini, signalizira detekciju, i prikaže obaveštenje putem svetlećih LED kao i putem aplikacije. Na samom kraju dat je pregled mogućnosti za dalji razvoj.

Ključne reči: ambijentalna inteligencija, senzorski podovi opterećenja, praćenje hodanja

Abstract – This paper describes the realization of a device for detection and processing of human gait. A functional prototype has been built which is able to measure the pressure on its surface, signal the detection, and show the result using LED lights, as well as an application. The paper also provides a possibility for further research and development.

Keywords: ambient intelligence, sensing floors, walking monitoring

1. UVOD

Lokalizacija i praćenje ljudi u određenom zatvorenom prostoru predstavlja posebnu granu istraživanja. Primene su mnogobrojne: obrada i analiza podataka kretanja, bezbednost, medicina i mnoge druge. Takođe primena bi bila moguća i na otvorenim prostorima, upotrebom prenosnih uređaja za detekciju i nadzor gde bi oni imali primenu koja zalazi u grane medicine, marketinga i bezbednosti.

Uređaji koji bi se bavili lokalizacijom i uspešno analizirali kretanje po njima, otvorili bi mogućnost blagovremene intervencije u slučaju određene opasnosti, dok bi u sferi medicine stvorili mogućnost da se predvidi zdravstveni problem i blagovremeno izbegnu komplikacije. Jedan od načina lokalizacije osoba je upotreba senzorskih podova koji registruju opterećenje. Oni se mogu se podeliti u dve kategorije: binarno-senzorske podloge opterećenja (detektovano ili nedetektovano), i one koje imaju mogućnost da mere i opterećenje, odnosno pritisak na podlogu (težinu predmeta).

Ove dve kategorije se kasnije dele na senzorske podove sa modularnim pločama i senzorske podove koji se sastoje iz celine pa je instalacija moguća u formi tepiha. Podni senzori opterećenja su u prednosti u odnosu na ostale tipove senzora, kako zbog privatnosti, tako i zbog mogućnosti opažanja.

Opažanje se dešava u ravni poda što omogućava direktnu detekciju objekata na njegovoj površini. Prednost je u tome što su u mogućnosti da detektuju statičke, ali i dinamičke objekte (predmete i živa bića). Zbog korišćenja tehnike opterećenja po određenoj površini, u mogućnosti su da prate, lociraju i prepoznaju predmete.

2. POSTOJEĆI PROTOTIPOVI I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Midlton je dizajnirao senzorsku podlogu dimenzija 3x0,5 m, opremljenu provodnicima pod pravim uglom koji su razdvojeni penom, sa funkcionalnošću detektovanja kao binarni prekidač [1].

Šen i Šin su razvili senzorski pod koristeći senzore na bazi optičkih vlakana. Njihova ideja je bila da prate odstupanje i deformacije duž vlakana izazvane promenom opterećenja. Rezolucija senzorskog poda može da se menja raspodelom optičkog vlakna ispod poda. Uz odgovarajuće algoritme za obradu podataka, realizovani senzorski pod može da otkrije i prati ljude koji stanu na njega [2].

Autori rešenja *FootSee* koriste senzorsku podlogu opterećenja preko koje korisnici upravljaju avатарom (virtuelni lik) u video igrici [3]. Za realizaciju je upotrebljen *XSensor* [4] instaliran u podlogu veličine 2x0,8 m. Autori su unapred u trening fazi zapisali pokrete celog tela i raspodelu pritiska stopala na tlo na samoj senzorskoj podlozi opterećenja, kako bi potom koristeći inverznu kinematiku mogli da izračunaju položaj čoveka iz dobijenih podataka koji u realnom vremenu pristižu.

3. KONCEPT REŠENJA – FLOORMATRIX

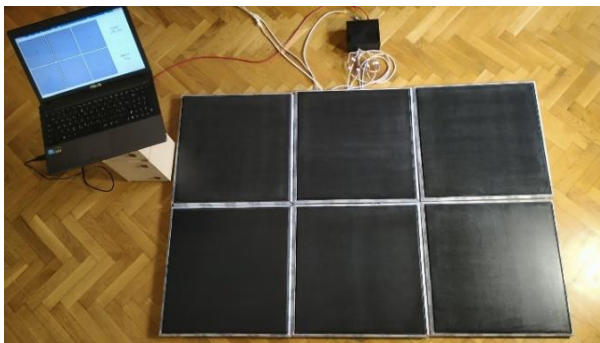
U ovom radu, implementirana je senzorska podloga pod nazivom *FloorMatrix*. Ploče ove podloge su realizovane od medijapana (debljine 18 mm), kako bi jedna ploča *FloorMatrix*-a mogla izdržati opterećenje pri hodaњу ili trčanju čoveka. Isečeno je šest ploča u pravilnom obliku kvadrata dimenzija stranice 49,5 cm.

Ivice ploča su oborene pod uglom od 45° kako bi se na stranice dodali ALU profili u kojima bi se nalazile adresabilne LED trake. Gornja i bočne površine ploča senzorske podloge su zaštićene crnom mat farbom i akrilnim lakom nanesenim u tri sloja.

Na slici 1. prikazano je svih šest izrađenih ploča i njihova postavka. Planirano je da budu postavljene po principu matrice 2x3.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila doc. dr Marija Antić.



Slika 1. *FloorMatrix sa šest ploča povezanih u funkcionalnu celinu*

3.1. Adresabilne LED trake WS2812B

Oko svake ploče uređaja *FloorMatrix* postavljeni su segmenti adresabilne LED trake (model WS2812B, više informacija u prilogu [5]) u ALU profile, kako bi se dobio bolji efekat signalizacije da je ploča detektovala pokret.

Na svaku stranicu ploče postavljeno je po pet segmenata, odnosno ukupno po dvadeset segmenata-dioda na jednoj ploči *FloorMatrix*-a. Raspoređeni su u pravilnom rasporedu sa po 7 cm razmaka između svakog segmenta (Slika 2.)



Slika 2. *Jedna ploča FloorMatrix-a sa uključenim LED u plavoj boji*

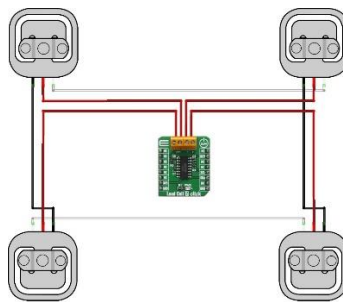
Za dobru međusobnu konekciju između ploča i lako priključivanje odabrani su *NYLON* konektori sa tri pina. Trake imaju tri pina: VCC, GND i DATA. Radni napon je 5 V dok po specifikaciji proizvođača potrošnja 1 m trake sa 60 LED iznosi 14 W odnosno 2,8 A.

Ukupno je ugrađeno 120 segmenata, odnosno 2 m LED trake, što zahteva izvor napajanja sposoban da isporuči 6 A pri naponu od 5 V. Adresabilne LED trake se razlikuju u odnosu na obične po tome što imaju mogućnost individualne kontrole pojedinačnog segmenta odnosno LED-a. Time se mogu postići svetlosni efekti kojima bi se mogle označiti određene situacije opasnosti, prepoznavanja, odnosno detekcije na samim pločama.

3.2. Senzor opterećenja SEN-10245 i NAU780 24bit ADC mikročip

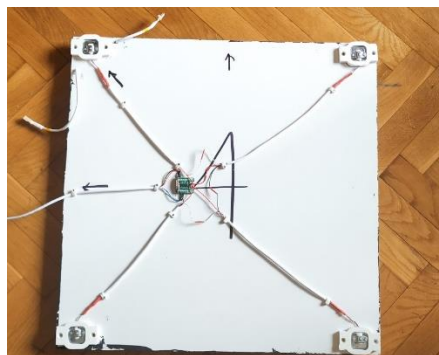
Za detekciju prisustva čoveka i objekata na pločama *FloorMatrix*-a korišćeni su senzori opterećenja koje je distribuirala kompanija *SparkFun*, model SEN-10245 [6] (Slika 3.).

Jedan senzor SEN-10245 u sebi sadrži dve merne trake otpornosti 1 kΩ. One menjaju svoju otpornost ukoliko su savijene, tj. kada se metalno kućište senzora minimalno pritisne, dešavaju se i minimalne promene otpornosti koje je potrebno detektovati i konvertovati u koristan podatak.



Slika 3. *Šema povezivanja u Vitstonov most četiri senzora opterećenja SEN-10245 sa NAU780 (Load cell 2 click)*

Nuvoton NAU780 mikročip je precizni 24-bitni ADC, sa mogućnošću PGA (programabilnog pojačanja). Korišćena je njegova realizacija na PCB modulu kompanije *Mikroelektronika* pod nazivom *Load cell 2 click* [7]. Potrebna su četiri pina za ispravan rad: VCC, GND, SDA, SCL. Vage-ploče realizuju se od četiri identična senzora opterećenja koji su povezani u formu Vitstonovog mosta.

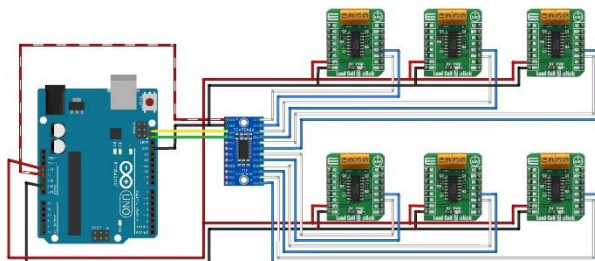


Slika 4. *Ploča FloorMatrix-a (pogled sa donje strane) i raspored ugrađenih senzora opterećenja*

Na slici 4. dat je prikaz ploče *FloorMatrix*-a (pogled sa donje strane) i raspored ugrađenih senzora opterećenja.

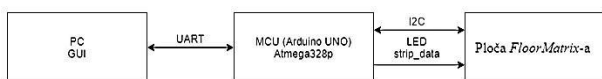
3.2. Povezivanje FloorMatrix ploča sa mikrokontrolerom

Kao veza između uređaja i PC-a odabran je Arduino Uno sa mikrokontrolerom ATmega328p [8] koji je isprogramiran da komunicira sa *Load cell 2 click* modulima preko I²C, obrađuje očitane vrednosti i šalje ih preko UART komunikacije aplikaciji (šema povezivanja data na Slici 5).



Slika 5. *Šema povezivanja elektronike sistema od šest ploča FloorMatrix-a*

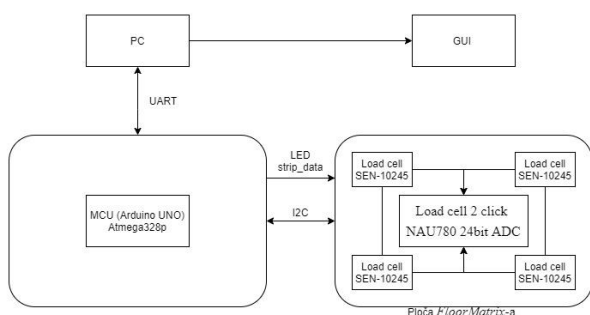
Osnovne celine iz koji se sastoji uređaj date su na blok šemi na slici 6. Takođe, date su i šematski prikazane potrebne komunikacije i smerovi.



Slika 6. Blok šema FloorMatrix-a

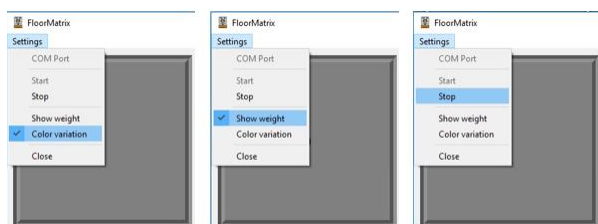
4. PROGRAMSKO REŠENJE I OBRADA PODATAKA

Uređaj *FloorMatrix* (kompletna blok šema prikazana je na Slici 7) funkcioniše tako što se formatirani i filtrirani podaci šalju aplikaciji putem serijske komunikacije. Pristizanjem svakog novog podatka vrši se osvežavanje vrednosti koje se prikazuju u aplikaciji (GUI). Prvi deo sistema čine same ploče *FloorMatrix*, dok drugi deo sistema čini GUI (*Graphical User Interface*) aplikacija koja je realizovana u Python programskom jeziku pomoću biblioteke *PyQt5* i *Qt Designer* alata, u kojem je kreiran izgled samog GUI.



Slika 7. Blok šema kompletnog FloorMatrix-a

U radu aplikacije koriste se tri programske niti, jedna glavna za osvežavanje glavnog prozora i dve za rad na podacima. U jednoj se vrši serijska komunikacija (očitanje podataka, slanje upravljačkih komandi ka MCU), a u drugoj parsiranje podataka (konverzija primljenog niza karaktera u Python rečnik).

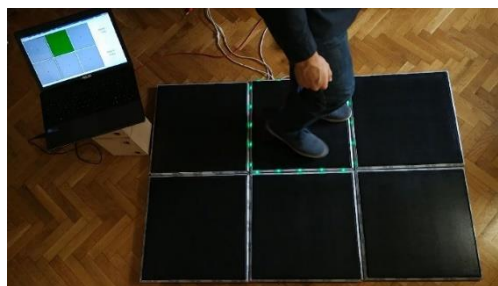


Slika 8. Dodatne opcije a) *Show weight* opcija b) *Color variation* opcija c) *Stop* opcija

Korisniku su na raspolaganju i dodatne opcije u padajućem meniju *Settings* moguće je odabrati vrstu prikaza, kao i opciju da se prikazuju trenutna opterećenja na svakoj od ploča *FloorMatrix-a* (Slika 8).

5. ISPITIVANJE I REZULTATI

Rezultati testiranja finalne verzije podloge *FloorMatrix* su pokazale njenu potpunu funkcionalnost i tačnost. Na slici 9 možemo videti situaciju testiranja kada je na jednoj ploči detektovano prisustvo čoveka. Kvadrat ploče na kojoj stoji čovek u aplikaciji je promenio boju u zelenu, a ista boja prikazala se i na samom uređaju. U kvadratnom polju se ispisuje trenutna težina na toj ploči, dok se u donjem levom uglu ispisuje ukupna težina na svim pločama (Slika 10).



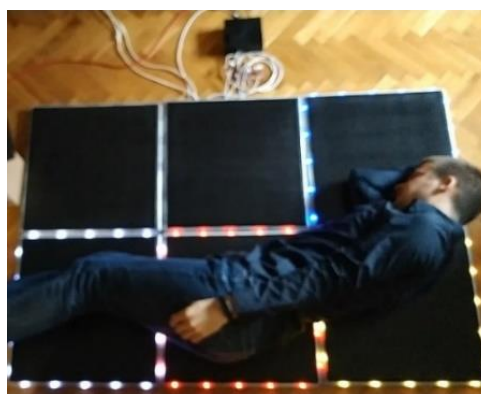
Slika 9. Prisustvo čoveka i njegovo lociranje na *FloorMatrix-u*



Slika 10. Čovek težine 79 kg je detektovan na jednoj od ploča *FloorMatrix-a*

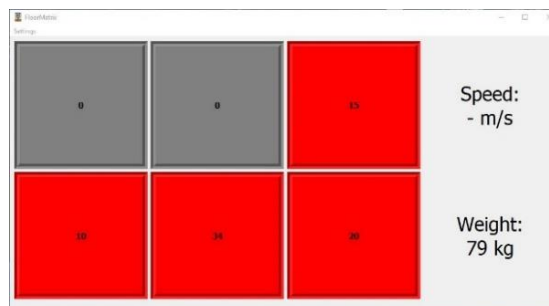
5.1. Detektovanje iznenadnog pada čoveka ili predmeta

Ukoliko se desi da čovek ili određeni objekat naglo padne i aktivira više od jedne ploče, uređaj će istu promenu ispratiti i promeniti boju na odgovarajućim pločama, odnosno u aplikaciji (Slika 11).



Slika 11. Slučaj pada čoveka i njegovo lociranje preko uređaja *FloorMatrix*

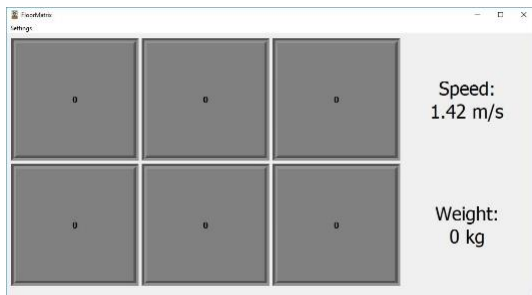
Na Slici 12 prikazano je ono što bi se prikazalo u samoj aplikaciji pri situaciji sa slike 11. Uređaj bi i dalje prikazivao tačnu ukupnu težinu koja se nalazi na njemu, kao i pojedinačno opterećenje raspoređeno po pločama.



Slika 12. Čovek je pao, njegovu težinu i prisustvo detektovale su tri ploče *FloorMatrix-a*

5.2. Merenje srednje brzine čovekovog kretanja

Jedna od naprednih funkcija uređaja čije primene mogu da budu višestruke jeste i merenje srednje brzine. Merenje počinje da se odvija kada je zakoračeno na prvu ploču do trenutka kada sve ploče pređu u neaktivno stanje. U gornjem desnom uglu aplikacije se nalazi parametar *Speed* gde se ispisuje brzina u metrima po sekundi (Slika 13).



Slika 13. Merenje srednje brzine prelaza preko uređaja FloorMatrix-a

5.3. Mogućnosti unapređenja

Dalje razvijanje i unapređenje išlo bi u smeru obrade podataka i njihove upotrebe u naprednom prepoznavanju predmeta i aktivnosti, u biomedicinskoj analizi i mapiranju okoline (autonomni roboti).

Sama aplikacija i upravljanje uređajem mogli bi se unaprediti korišćenjem boljeg mikrokontrolera. Primera radi, upotreba ESP8266 [9] omogućila bi daljinsku komunikaciju s uređajem putem mobilnog telefona. Upotreba ovog kontrolera bi doprinela obradi podataka koji bi se mogli pohranjivati putem interneta na udaljeni računar

U unapređenoj verziji uređaja koja bi pokrivala čitavu prostoriju jednog apartmana, bilo bi moguće izdvajanje preciznih podataka o čovekovom pravcu kretanja ili na primer raspodeli pritiska između dve noge. Ovi parametri služe kao medicinski pokazatelji stanja ljudskog hoda, a samim time moguće je preventivno reagovati u slučaju nepravilnosti. Zanimljivi podaci za analizu bili bi koliko se koraka napravi u zatvorenom prostoru, kojom brzinom čovek hoda kada se kreće u određenim delovima stana, broj i vrsta interakcije sa predmetima, kolika je težina predmeta koje čovek podigne u toku dana, kako se njegova težina menja (dugoročno).

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu merenja zaključeno je da je hardverska platforma dovoljno brza i osetljiva za detekciju, kako ljudi, tako i životinja, te da je moguće precizno merenje opterećenja prisutnih na uređaju. Odziv sistema je trenutno i time je omogućena i njegova upotreba u daljim istraživanjima.

7. LITERATURA

- [1] L. Middleton, A. A. Buss, A. Bazin, i M. S. Nixon, „A Floor Sensor System for Gait Recognition“, u *Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies (AutoID '05)*, str. 171–176
- [2] Y.-L. Shen i C.-S. Shin, „Distributed Sensing Floor for an Intelligent Environment“, *IEEE Sens. J.*, sv. 9, izd. 12, str. 1673–1678, dec. 2009
- [3] K. Y. and D. K. Pai, „FootSee: An Interactive Animation System“, *ACM Symposium on Computer Animation 2003*.
- [4] Xs. technology Corporation, „XSensor“. [Online]. Dostupno na: <https://www.xsensor.com/>
- [5] Worldsemi, „WS2812B, datasheet“. [Online]. Dostupno na: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>. [Pristupljeno: 10.09.2020.]
- [6] Sparkfun, „SEN-10245 Load Sensor - 50kg“. [Online]. Dostupno na: <https://www.sparkfun.com/products/10245>. [Pristupljeno: 10.09.2020.]
- [7] Mikroelektronika, „Load cell 2 Click“. [Online]. Dostupno na: <https://www.mikroe.com/load-cell-2-click>. [Pristupljeno: 10.09.2020.]
- [8] Atmel, „ATmega328P, datasheet“. [Online]. Dostupno na: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf. [Pristupljeno: 10.09.2020.]
- [9] Espressif, „ESP8266“. [Online]. Dostupno na: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>. [Pristupljeno: 10.09.2020.]

Kratka biografija:



Željko Popović rođen je u Subotici 1996. god. BSc rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektronika – Mikroelektronika odbranio je 2019.god.

kontakt: zeljko.popovic996@gmail.com



Marija Antić doktorirala je 2015. godine, na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Danas je docent na Departmanu za računarstvo i automatiku, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

kontakt: marija.antic@rt-rk.uns.ac.rs

**REHABILITACIJA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE POSTUPKOM HLADNOG
RECIKLIRANJA NA LICU MESTA, PRIMER DEONICE V.STEPA-S.ITEBEJ l~2.05km**
**REHABILITATION OF PAVEMENT STRUCTURE WITH COLD IN-SITU RECYCLING
PROCESS, EXAMPLE OF THE ROAD SECTION V.STEPA-S.ITEBEJ l~2.05km**

Milica Pločić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Rad sadrži opis primene i izvođenje postupka za iskorišćenje materijala iz postojeće kolovozne konstrukcije na gradilištu po sistemu „hladne reciklaže“ uz dodatak vezivnih sredstava. Sam postupak je prikazan na praktičnom primeru deonice državnog puta Vojvoda Stepa – Srpski Itebej (L~2.05km).

Ključne reči: rehabilitacija, hladna reciklaža na licu mesta, recikler, veziva i dodaci.

Abstract – The paper contains a description of using and performing of the procedure for material utilization from the existing pavement structure on site by „cold recycling“ process with the addition of stabilizing agents. The procedure itself is shown on a practical example of the state road section “Vojvoda Srepa – Srpski Itebej” (L~2.05km).

Keywords: rehabilitation, cold in-situ recycling, recycler, binders, stabilizing agents and additives.

1. UVOD

Hladno recikliranje može se odvijati „u pogonu“ („in - plant“) gde se izvlači material iz postojećeg kolovoza i odvozi do središnjeg skladišta ili „na mestu“ („in - situ“) koje se odvija pomoću stroja za recikliranje ili reciklera. Tema rada je upoznavanje sa postupkom reciklaže na licu mesta gde se oštećeni asfaltni slojevi bez zagrevanja glodaju i uz dodatak određenih veziva i vode ponovo polažu obrazujući strukturalno zdrav kolovoz.

Rad je podeljen na dva dela- teorijski i praktični. U prvom delu rada dat je opis tehnologije, mogućnosti primene, priprema za „in situ“ postupak i izbor veziva i dodataka za stabilizaciju. Opisani su osnovni koraci ovog postupka i njegove prednosti koje nas dovode do značajne finansijske uštede, brzine izvođenja radova i pre svega zaštite životne sredine iskorišćenjem materijala postojećih slojeva. Drugi deo rada posvećen je na primeru projekta Državnog puta IIA reda, na kome se izvode radovi na rehabilitaciji kolovozne konstrukcije na postojećoj širini kolovoza. Dužina obrađene deonice je L~2.05 km, prikazani su poprečni profili, situacioni plan i podužni profil, opisan detaljan tehnički izveštaj i priloženi tehnički uslovi.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Miloš Šešlija.

2. EKONOMSKI I EKOLOŠKI UČINCI

Hladno recikliranje „in-situ“ postupkom je najpovoljniji postupak za obnavljanje kolovoza s obzirom na troškove, jer nema troškova skladištenja starog materijala i troškova transporta. Potreba za očuvanjem okoline i savremeni trendovi održivog razvoja, dodatno podstiču razvoj novih tehnologija i pristupa u građenju i održavanju puteva. Takva praksa naglašava važnost recikliranja postojećih materijala čime se ne troše novi resursi i ne stvara građevinski otpad.

Recikliranje po hladnom postupku ima povoljan uticaj na okolinu. Smanjuje se korišćenje novih materijala jer se u potpunosti koristi material iz postojećeg kolovoza i količina novog materijala kojeg treba dovesti iz kamenoloma je minimalna. Ometanja normalnom odvijanju saobraćaja su mala zbog velikih dnevnih učinaka strojeva i brze spremnosti konstrukcije da preuzme saobraćajno opterećenje.

Ponovnom upotrebom visokokvalitetnih materijala kolovoza na licu mesta produžuje se trajanje retkih prirodnih resursa kvalitetnih agregata. Moguće uštede troškova primenom hladnog recikliranja u odnosu na druge metode rehabilitacije, mogu biti i do 50%.

3. OPŠTE O POSTUPKU

Reciklaža na licu mesta po hladnom postupku radi se pomoću mašine za glodanje/reciklera koji služi da izlomi, usitni i izmeša material gornjih slojeva kolovozne konstrukcije sa dodatnim materijalima tako da se dobije mešavina zahtevane granulacije i konzistencije, sve u jednom prolazu (Slika 1). Reciklirani asfaltni kolovoz je mešavina sa aditivom (ili aditivima) da bi se proizveo prerađeni material koji će činiti nosivi sloj asfaltnog kolovoza. Takva mešavina se polaže na donji nosivi sloj i razastire se grejderom ili razastiračem na recikleru u sloj određene debljine. Nakon toga sledi zbijanje teškim pneumaticima na vibro valjcima s jednostrukim ili dvostrukim bubnjevima. Tako reciklirani asfaltni kolovoz prekriva se vrućom asfaltnom presvlakom ili površinskom obradom.

Pri razmatranju dubine recikliranja, projektant treba da predvidi mogućnost strukture kolovoza da podrži strojeve za recikliranje na oslabljenom preseku kolovoza dok se postojeći materijali recikliraju.



Slika 1: Recikler na točkovima

4. ANALIZA POSTOJEĆEG KOLOVOZA

Osnovni koraci ovog postupka su:

- Određivanje projektnog veka kolovozne konstrukcije
- Terenska i laboratorijska istraživanja
- Definisanje mogućih projektnih rešenja
- Provera izvodljivosti projektnih rešenja
- Izbor projektnog rešenja

U okviru planiranja radova reciklaže po hladnom postupku pre svega treba ispitati da li lokalni uslovi (širina puteva, radijusi krivina, usponi, objekti, slobodni profili) dopuštaju upotrebu kombinovanih mašina – postrojenja za reciklažu.

Za pojedinačne homogene poteze, u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja, stanja kolovoza i materijala u pojedinim slojevima, treba uzeti u obzir odgovarajuće postupke (npr. samo popravke oštećenja i novi zastor, pojačanje novim slojevima, prerada postojećeg zastora do određene dubine, reciklaža gornjih slojeva do potrebne dubine i izrada novog zastora, itd.) (Slika 2).

Neophodan je detaljan vizuelni pregled deonice, stanje kolovozne konstrukcije i njenih slojeva, uključujući karakteristike materijala od kojih su izgrađeni (istražni radovi na terenu).

Kada je u pitanju odluka o primeni postupka duboke reciklaže po hladnom postupku, suština je da se ispitivanjem postojeće kolovozne konstrukcije dobiju podaci koji će omogućiti objektivnu procenu potrebne dubine do koje će se material gornjih slojeva reciklirati, uz utvrđivanje učešća vezanih i nevezanih materijala u recikliranoj mešavini, kao i procena potrebe za dodatnim granuliranim materijalima i vezivima.



Slika 2: Kandidat za in situ postupak

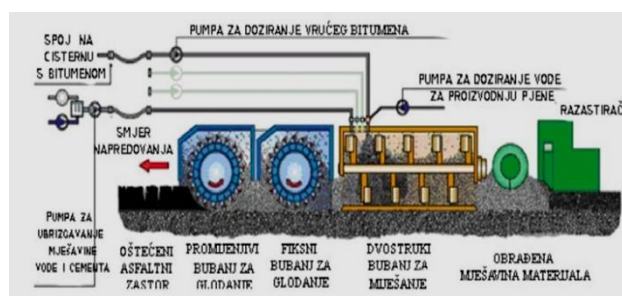
5. POSTUPAK NA LICU MESTA

5.1. Opis tehnologije

In - situ postupak recikliranja ili recikliranje na gradilištu, sadrži niz operacija koji uključuje:

- dodavanje veziva, dodataka, vode i kamenog materijala
- homogenizaciju
- razastiranje
- zbijanje

Središte svih strojeva za recikliranje je bubanj za glodanje koji je opremljen s velikim brojem zubaca. Bubanj se vrti i gloda materijal. Stroj je opremljen s najmanje jednim sistemom za doziranje tečnosti. Brzina isporuke vode se meri pomoću mikro - procesora koji reguliše protok u skladu sa količinom materijala u komori za mešanje. Voda se ubrizgava u komoru za mešanje kroz niz mlaznica koje su postavljene na istoj udaljenosti (Slika 3).



Slika 1: Stroj za recikliranje sa komponentama

5.2. Priprema za „in situ” recikliranje

Neke od osnovnih priprema koje je neophodno izvršiti su:

1. Provera granulometrijskog sastava recikliranog materijala pre izvođenja recikliranog sloja. Potrebno je uzeti reprezentativni uzorak i ispitati granulometrijski sastav mešavine bez veziva, uporediti ga sa prethodnim sastavom i ako je potrebno korigovati ga.
2. Pre početka radnog dana potrebno je napraviti plan recikliranja kojeg radi izvođač, a koji sadrži početnu i krajnju stacionažu s dužinom i širinom, broj paralelnih prolaza i njihovih širina, poziciju i širinu preklopa svakog uzdužnog spoja, redosled i dužinu svakog zahvata, procenu potrebnog vremena za izvođenje svakog zahvata i ukupnog vremena.
3. Priprema podloge koja zahteva uklanjanje vegetacije, eventualne vode. Takođe je potrebno proveriti obučenost operatera strojeva, raspoloživost opreme na trasi, pripremljenost reciklera za prvi zahvat (u smislu čišćenja komore za mešanje i naslaga za ispravan rad prskalica, provera rada dela za doziranje), izvući liniju za vođenje reciklera, itd.
4. Pre početka rada položaj osovine se obeleži kočicama koji se postavljaju na konstantnom odstojanju upravno na osovinu, van površine koja će biti zahvaćena radovima.
5. Dodavanje kamenog materijala po površini radi poboljšanja granulometrijskog sastava i nivelacije površine. Tehnologija razastiranja dodatnog materijala treba da bude prilagođena zahtevima pa se koriste finišeri, grejderi ili druga oprema za takve radove.

6. VEZIVA I DODACI

Sva veziva imaju za cilj povećanje čvrstoće i/ili učiniti material više vodootpornim i izdržljivijim. Razlikujemo cementna sredstva za stabilizaciju i stabilizaciju sa bitumenskim sredstvima.

6.1. Stabilizacija sa cementom kao vezivnim sredstvom

Cement je najčešće sredstvo koje se koristi za stabilizaciju, zbog toga što je lako dostupan i jer se dobro pokazao kao građevinski material.

Cement se može nanositi na četiri različita načina:

1. Cementom se pune džakovi i razastire se ručno
2. Razastiranje iz cisterne (Slika 4)
3. Strojem za stabilizaciju ili reciklerom koji u sebi ima ugrađen uređaj za razastiranje.
4. Ubrizgavanjem mulja



Slika 2: Nanošenje cementa pomoću cisterne

6.2. Stabilizacija bitumenskom emulzijom

Bitumenska emulzija je mešavina bitumena i vode u odnosu 60:40 i po pravilu se koristi na temperaturama od 20-40°C. Nakon što je materijalu dodata bitumenska emulzija, sadržaj vode u mešavini se redukuje dodatkom cementa.

6.3. Stabilizacija sa penušavim bitumenom

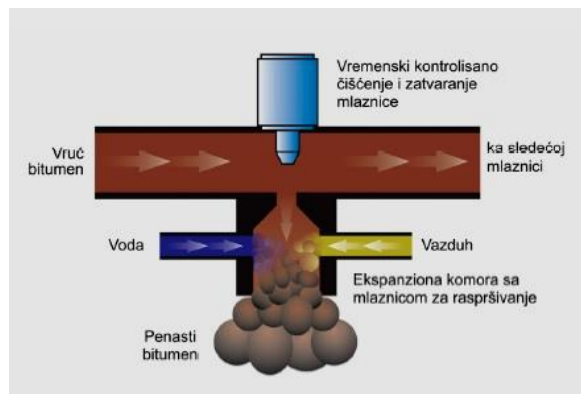
Penasti bitumen se proizvodi dodavanjem malih količina vode (približno 2% - 3% u odnosu na masu bitumena) vrućem bitumenu. Za ovaj postupak se koristi bitumen koji se i obično primenjuje u proizvodnji vrućih asfaltnih mešavina. Kada se ubrizga, voda naglo isparava, uzrokujući tako eksplozivno dejstvo penušanja bitumena u zasićenoj vodenoj pari.

Bitumen se na taj način širi orijentaciono 15 do 20 puta od svoje početne zapremine čime se njegov viskozitet značajno smanjuje, u tom obliku, on je izuzetno pogodan za mešanje sa hladnim agregatom.

Penasti bitumen se može koristiti kao vezivo za stabilizaciju različitih vrsta agregata. U nastavku dat prikaz proizvodnje penastog bitumena u ekspanzionoj komori (Slika 5).

7. MAŠINE I OPREMA ZA RECIKLAŽU

Reciklaža na licu mesta po hladnom postupku se vrši pomoću posebno modifikovane mašine sa frezom/-glodalicom koja može da usitni i izmeša materijal gornjih slojeva kolovozne konstrukcije da dodatnim materijalima, tako da se dobije mešavina zahtevane granulacije i konzistencije.



Slika 3: Proizvodnja penastog bitumena u ekspanzionoj komori

Mašina treba da sadrži najmanje sl. elemente:

- Uređaj za usitnjavanja/frezovanja materijala do dubine najmanje 30 cm u jednom prolazu, sa automatskim senzorima za tačnu kontrolu dubine dejstva
- Cilindar sa glodalima koji se obrće na gore u odnosu na smer napredovanja, sa najmanjom širinom sečenja od 2 m u jednom prolazu
- Sistem za kontrolu granulacije koji se sastoji od podesive grede na prednjem delu cilindra sa glodalima, koji doprinosi usitnjavanju materijala koji se reciklira.

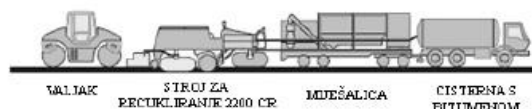
Tu je naravno i dodatna oprema poput: sistema sa mikrokontrolerima za ubrizgavanje vode i veziva u tečnom stanju, pumpe i dozatori, sistem samočišćenih raspršivača, itd.

Razastiranje i nivelacija se vrši pomoću: grejdera ili razastirača montiranog u sklopu mašine za reciklažu

Vozovi za recikliranje mogu sadržati jednu, dve ili više jedinica. Kod voza za recikliranje s jednom jedinicom, stroj za glodanje obično funkcioniše s glavom za rezanje koja je smeštena u donjem položaju za rezanje. Rezalica za glodanje zahvata postojeći kolovoz do potrebne dubine, poprečnog nagiba kolovoza i veličine zrna recikliranog asfaltnog kolovoza, mešajući kroz to vreme aditive. Prskalicom u komori za rezanje dodaju se tekući aditivi.

Voz za recikliranje sa dve jedinice sastoji se od velikog stroja za glodanje po punoj širini voznog traka, te finišera koji deluje i kao mešalica. Finišer – mešalica proizvodi recikliranu mešavinu koristeći se bubnjem za mešanje, a mešavinu ugrađuje konvencionalnom pglom finišera.

Voz za recikliranje sa više jedinica sastoji se od stroja za glodanje i prikolice sa montiranim jedinicama za prosejavanje, drobljenje i bubnja za mešanje (Slika 6).



Slika 4: Voz za recikliranje

8. PRIMENA HLADNE RECIKLAŽE NA PRIMERU DEONICE V.STEPA – S.ITEBEJ

Deonica državnog puta IIA-104 koja se rehabilituje zauzima pravac sever – jug i nalazi se u srednjobanatskom okrugu Dominantni element horizontalne geometrije jeste pravac.

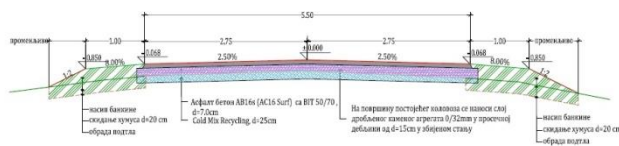
Na kolovozu su uočene najrazličitije vrste oštećenja: rupe, podužne i poprečne pukotine, mrežaste-bok pukotine, zakrpe, itd. (Slika 7).



Slika 5: Predmetna deonica sa oštećenjima

8.1. Projektovana tehnička mera rehabilitacije kolovozne konstrukcije

Pre izvođenja novog asfaltnog sloja, na postojeću kolovoznu konstrukciju se nanosi sloj od drobljenog kamenog agregata 0/32 mm u prosečnoj debljini od $d=15.0$ cm u zbijenom stanju. Nakon toga se izvodi sloj hladne reciklaže (reciklira se debljina od 10cm postojećih asfaltnih slojeva i debljina od oko 15cm sloja novog drobljenog kamenog agregata 0/32mm). Preko se izvodi habajući sloj od asfalt betona $d=7$ cm. Prikaz normalnog poprečnog profila dat na slici (Slika 8).



Slika 6: Normalni poprečni profil

9. ZAKLJUČAK

Potreba za rehabilitacijom i rekonstrukcijom puteva postaje sve veća samom izgradnjom putne mreže i rastom drumskog saobraćaja. U našoj zemlji putevi su generalno u lošem stanju, a potreba za rehabilitacijom i rekonstrukcijom je sve masovnija, glavni razlog tome su neadekvatna i neredovna održavanja istih. Tehnologija postupkom hladne reciklaže koja ima široku primenu u Evropi podrazumeva da se prilikom rekonstrukcije puta što više iskoristi postojeći kameni i drugi materijali koji su u trasi puta.

Na samom kraju dolazimo do zaključka da su prednosti ove metode:

- Ekonomičnost- manjenje troškova rekonstrukcije puteva
- Produktivnost-ubrzanje vremena izvođenja radova
- Kvalitet-upotreba savremenih vezivnih sredstava
- Zaštita životne sredine

10. LITERATURA

- [1] Wirtgen Group (2004): *Wirtgen Cold Recycling Manual*, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany
- [2] JP „Putevi Srbije“: Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji
- [3] Delinac, M.: Rekonstrukcija kolničke konstrukcije postupkom hladnog recikliranja, Sveučilište u Osijeku
- [4] Sršen, M. I drugi: Recikliranje asfaltnih kolnika, Stručni rad
- [5] Miljković, M: Penasti bitumen u reciklaži asfaltnih kolovoznih konstrukcija, Građevinsko – arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, 2009
- [6] Prof. Dr Uzelac. Đ. sa grupom autora: Uputstvo i tehnički uslovi za duboku reciklažu na licu mesta po hladnom postupku kod rehabilitacije kolovoznih konstrukcija, Beograd 2002
- [7] Putevi Srbije, www.putevi-srbije.rs

Kratka biografija:



Milica Pločić rođena je u Valjevu 1991. god. Nakon završene Tehničke škole, upisuje studije građevinarstva na FTN- u u Novom Sadu, gde stiče zvanje diplomiranog inženjera građevine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka, na Departmanu za građevinarstvo i geodeziju odbranila je 2020.god.
kontakt: plocic.milica@gmail.com

ANALIZA STABILNOSTI KLIZIŠTA**ANALYSIS OF LANDSLIDES STABILITY**Tijana Majkić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu su teorijski obrađene metode proračuna stabilnosti klizišta, kao i mere za stabilizaciju klizišta. Primijenjeno je više metoda za proračun stabilnosti klizišta u zoni mosta „Sloboda“ u Novom Sadu, uz variranje ulaznih parametara, a zatim je urađena analiza dobijenih rezultata.

Ključne reči: Stabilnost padina i kosina, klizište, metode proračuna stabilnosti

Abstract – The paper theoretically deals with methods for calculating the stability of landslides, as well as measures for stabilizing landslides. Several methods were applied for the calculation of landslide stability in the zone of the "Sloboda" bridge in Novi Sad, with variation of the input parameters, and then the analysis of the obtained results was done.

Keywords: Slope stability, landslide, stability calculation methods

1. UVOD

Klizišta su prirodni proces pri kome izvesna količina stenske mase kliza po kliznoj površini iz hipsometrijski višeg područja u niže. U teorijsko-istraživačkom delu rada opisane su mere za stabilizaciju klizišta i metode proračuna stabilnosti klizišta. Za realno klizište urađen je proračun stabilnosti prema šest odabranih metoda, uz variranje parametara tla i pornih pritisaka, i analizirani su dobijeni rezultati.

2. MERE ZA STABILIZACIJU KLIZIŠTA

Nestabilnost padine ili kosine je rezultat većih smičućih napona u odnosu na smičuću čvrstoću materijala u tlu. Stabilizacija se može postići smanjenjem smičućih napona (rasterećenjem gornjeg, aktivnog dela, odnosno opterećenjem donjeg, pasivnog dela klizišta, pomoću dreniranja, sniženjem nivoa podzemne vode) ili povećanjem čvrstoće materijala u zoni klizišta (opterećenje donjeg, pasivnog dela klizišta, povećanje efektivnih naprezanja, injektiranje, termički i elektrohemijski postupci). Mere za stabilizaciju [1] su:

- promena geometrije preseka (nivelisanje, ublažavanje nestabilnog prirodnog nagiba, preraspodela zemljanih masa, izrada kontratereta, zamena nedovoljno nosivog tla);

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mitar Đogo, red.prof.

- drenažne mere (sistemi drenažnih rovova, depresioni i vakuum bunari, drenažni potkopi – galerije, i drenažni tepisi);
- potporne konstrukcije (armiranobetonski zidovi, prefabrikovani betonski zidovi, gabionski zidovi, od armiranog tla i dr.);
- primena šipova;
- ojačavanje mase tla veštačkim materijalima;
- poboljšanje svojstava tla (injektiranje, elektro-osmoza).

3. METODE PRORAČUNA STABILNOSTI KLIZIŠTA

Za proračun stabilnosti klizišta primenjuju se dve grupe metoda:

- Analitičke metode - metode granične ravnoteže; problem se svodi na određivanje odnosa između raspoložive smičuće čvrstoće i prosečnog smičućeg napona, odnosno određivanje faktora sigurnosti, F_s , potrebnog za održavanje kliznog tela u ravnoteži;
- Numeričke metode - metoda konačnih elemenata, metoda konačnih razlika; određuju se naponi i deformacije u tlu, i na osnovu dobijenih rezultata se ocenjuje stanje padine ili kosine.

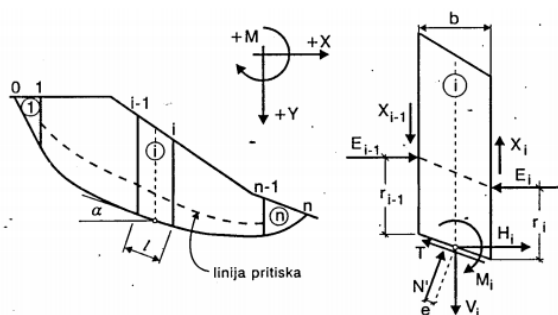
U smislu pristupa proračunu i definisanju vrednosti kojima se zadovoljava sigurnost neke padine ili kosine, razlikuju se deterministički i probabilistički pristup.

Deterministički pristup proračunu podrazumeva da se pomoću determinisanih vrednosti parametara dobija jedinstvena vrednost faktora sigurnosti.

Probabilistički pristup analizi uveden je sa ciljem da se na najbolji način u obzir uzmu nepouzdanosti varijabli u problemima koji se razmatraju (kombinacija opterećenja, nepouzdanost parametara i sl.).

3.1. Analitičke metode

Kod analitičkih metoda, klizno telo se u opštem slučaju deli na vertikalne blokove, lamele, pritom se za svaku lamelu određuju odgovarajuće sile [2] prikazane na Slici 1. U praksi i u nauci postoji velik broj razvijenih, ustaljenih analitičkih metoda stabilnosti klizišta u zavisnosti od matematičkog modela proračuna sila koje se javljaju između određenih blokova, kao i oblika samog bloka. Izdvajaju se metode proračuna stabilnosti klizišta prema Janbu (generalizovana i proširena, Janbu II metoda), Bishop-u (rutinska metoda), Morgenstern-Price-u, Fellenius-u (poznatija kao švedska metoda), Spencer-u, Sarma-i, Shahunyanys-u i dr.



Slika 1. Podela proizvoljnog kliznog tela na lamele

Indeks relativne stabilnosti kao faktor sigurnosti klizišta, F_s , prvi je opisao Bishop kao odnos smičuće čvrstoće tla, τ_f i prosečne veličine smičućih napona na kliznoj površi, τ_m . U metodama granične ravnoteže se podrazumeva konstantna vrednost faktora sigurnosti duž klizne površine.

3.2. Numeričke metode

Proračun stabilnosti klizišta numeričkim metodama zasniva se na metodama diskretizacije domena, poput:

- metoda konačnih elemenata - MKE;
- proširena metoda konačnih elemenata;
- metoda graničnih elemenata;
- metoda diskretnih elemenata;
- metoda konačnih razlika.

Najprimenjenija od navedenih metoda je metoda konačnih elemenata. MKE je metoda kojom se fizički problemi, definisani diferencijalnim jednačinama i graničnim uslovima koji su neophodni za rešavanje graničnih problema, prebacuju u diskretni sistem algebarskih jednačina. Omogućava rešavanje kompleksnih geometrijskih problema za različite fizičke probleme (naponsko – deformacioni proračun, termička provodljivost, filtracioni proračun i dr.).

Prilikom modeliranja i analize stabilnosti klizišta, tlo se razmatra kao linearno-elastičan, elasto-plastičan ili nelinearan materijal. Takođe, potrebno je imati u vidu dva bitna aspekta: diskretizaciju i aproksimaciju.

4. PRIMER PRORAČUNA KLIZIŠTA

Za primer klizišta u zoni mosta „Sloboda“ u Novom Sadu, urađen je proračun stabilnosti uz variranje određenih parametara (vrednosti ugla trenja tla i pornih pritisaka). Za proračun je korišćen softver SLOPE/W iz paketa GeoStudio.

Pomoću softvera, analiza klizišta je izvršena sa više analitičkih metoda proračuna, prethodno navedenih u radu, i jednom numeričkom metodom tj. metodom konačnih elemenata.

Klizište u zoni mosta „Slobode“ u Novom Sadu predstavlja ozbiljnu pretnju po stabilnost mosta i iz tog razloga je jedno od najviše istraživanih klizišta u Srbiji. U fazi projektovanja i izgradnje konstrukcija mosta nije dovoljno prilagođena nestabilnoj padini, pa su stubovi mosta na desnoj dolinskoj strani fundirani na relativno dubokim šipovima, izuzev krajnjeg stuba koji je fundiran na temeljnoj ploči. Uprkos ovakvom prilagođavanju konstrukcije objekta terenu, aktivnost procesa klizanja nije prestala što je uzrokovalo pomeranje mosta prema Dunavu.

Izvedenim istražnim radovima precizno je definisan litogenški sastav stenskih masa u zoni klizišta, te su u vertikalnom profilu [3,4] definisane najdublje granice aktivnog klizišta: na bušotini B-8 na 26,90 m, na BP-6 36,00 m, i na B-6 na 46,50 m dubine (Slika 2.).

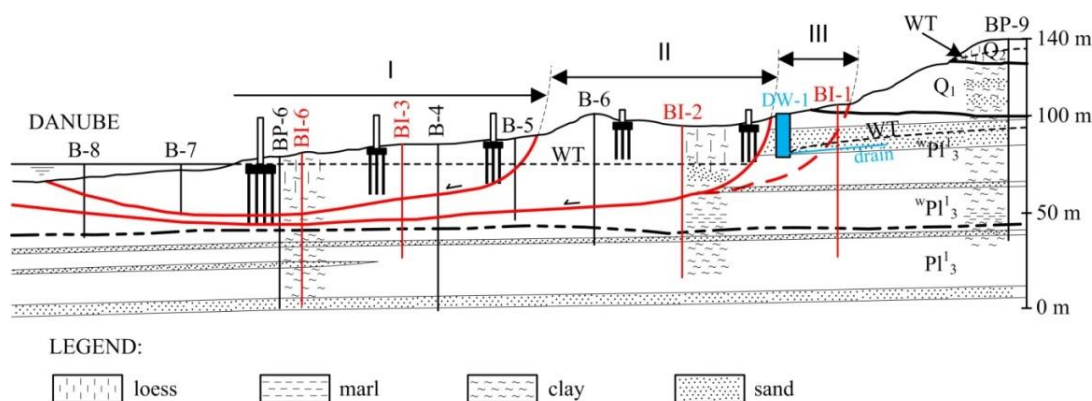
Na osnovu podataka o građi tla i položaju klizišta dobijenih detaljnim ispitivanjima, pomoću softvera za analizu stabilnosti kosina SLOPE/W, iz programskog paketa GeoStudio, napravljen je model predmetnog klizišta i izvršen je proračun.

4.1. Proračunski model klizišta

Postupak modeliranja u SLOPE/W svodi se na definisanje sledećih komponenti: geometrija (opis terena i oblika potencijalnih površina klizanja); čvrstoća tla (parametri koji se koriste za opis čvrstoće tla); pritisak porne vode; ojačanje ili interakcija tlo-konstrukcija i dopunsko opterećenje [5].

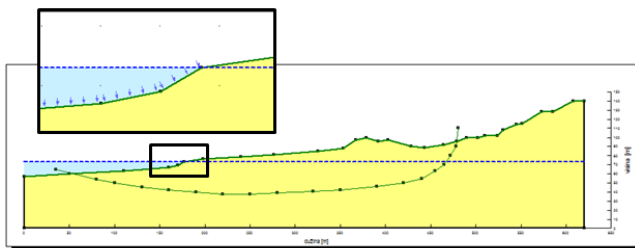
Geometrija za proračunski model je proizašla iz realnog modela terena i klizišta koje je detaljno ispitivano. Geometrija proračunskog modela je određena nizom tačaka. Time je, pored površine terena, omogućeno određivanje klizne površine proizvoljnog (stvarnog) oblika opcijom *Fully Specified Slip Surface*.

Karakteristike materijala od kog je izgrađeno tlo (pretežno gлина) odgovaraju modelu Mohr-Coulomb-ove jednačine. Usvojena je zapreminska težina od 18 kN/m^3 , bez kohezije, a ugao trenja tla je variran (proračun je izvršen sa vrednostima ugla trenja tla od 5° , 7° i 10°).



Slika 2. Geotehnički profil terena

Porni pritisak u tlu uveden je opcijom pijezometarske linije i takođe je variran u zavisnosti od nivoa Dunava. Razmatrana su dva slučaja sa nivoima Dunava na 74 m i 79 m i slučaj bez pritiska vode u porama tla. Proračunski model klizišta sa uvedenim pritiscima vode u porama tla prikazan je na Slici 3.



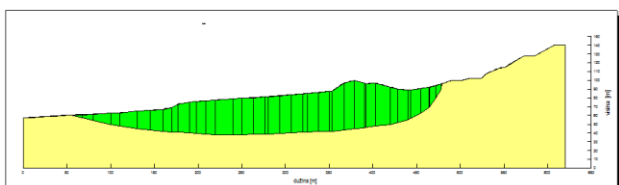
Slika 3. Klizna površina i pijezometarska linija

4.2. Metode proračuna

Stabilnost klizišta u zoni mosta je proračunata sledećim metodama:

- Morgenstern-Price-ova metoda;
- Sarma-ina metoda;
- Bishop-ova metoda;
- Janbu-ova metoda;
- Fellenius-ova metoda – Švedska metoda (u programu: *Ordinary*);
- Metoda konačnih elemenata.

Morgenstern-Price-ova (M-P) metoda u proračun uzima i uticaj međulamelnih smičućih sila, te se zbog toga smatra jednom od najpreciznijih metoda granične ravnoteže. Pored ostalih parametara, preciznost rezultata u velikoj meri zavisi od izabrane funkcije pomenutih sila. Polusinusna funkcija, koja je i programom određena automatski, izabrana je za ovaj proračun. Zasnovana na principu metode lamela, vrši podelu kliznog tela na lamele i proračunava faktor sigurnosti, konstantan za celu kliznu ravan (Slika 4.).



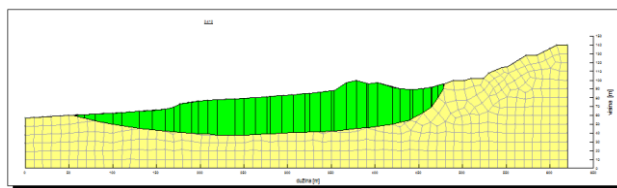
Slika 4. Podela kliznog tela na lamele prema M-P metodi

Koncepti i pretpostavke metoda granične ravnoteže ne obezbeđuju uvek realnu raspodelu napona duž površine klizanja ili unutar potencijalne klizne mase. Kako bi se prevazišla ograničenja ovih metoda, potrebno je uvesti odnos napona i deformacija. Uvođenjem odnosa napona i deformacija u proračun obezbeđuje se kompatibilnost pomeranja, što rezultuje realnijom distribucijom napona.

Jedan od načina uključivanja odnosa napona i deformacija u analizu stabilnosti jeste utvrđivanje raspodele napona u tlu pomoću analize konačnih elemenata i korišćenje dobijenih napona u analizi stabilnosti, slika 5. Odabrani softverski paket omogućava računanje napona tla pomoću SIGMA/W alata, a SLOPE/W koristi SIGMA/W naprezanja za izračunavanje sigurnosnih faktora.

Prilikom modeliranja tla uvode se efektivni drenirani parametri. Definišu se konturni uslovi ivica analiziranog

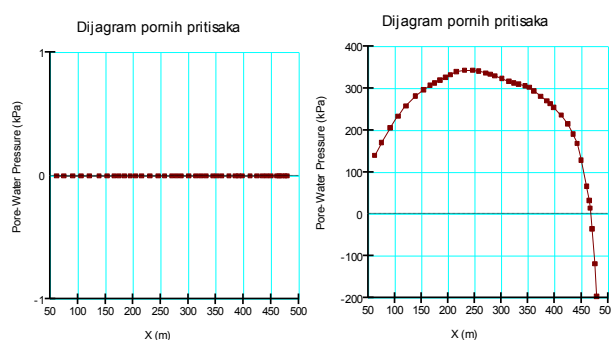
segmenta tla u zoni klizišta, odnosno sprečava se horizontalno pomeranje bočnih ivica, kao i horizontalno i vertikalno pomeranje donje ivice. Mreža konačnih elemenata se generiše programom i prikazana je na slici 7.



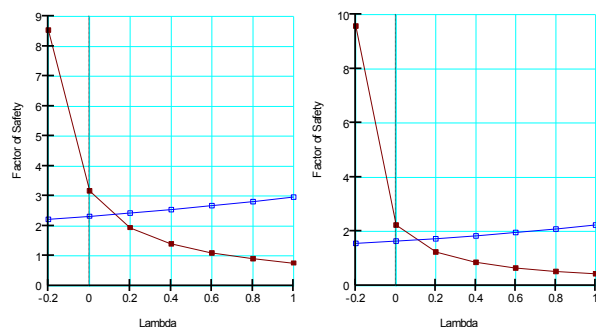
Slika 5. Podela klizne ravni na lamele prema MKE

4.3. Analiza rezultata proračuna

Na slikama 6. i 7. prikazani su dijagrami dobijeni proračunom prema metodi Morgenstern-Price-a, za slučaj modela klizišta bez pornog pritiska i sa pornim pritiskom, kada je nivo Dunava na 74 m.



Slika 6. Dijagrami pornih pritiska, tlo bez vode i sa vodom u porama



Slika 7. Dijagram $F_s - \lambda$, tlo bez vode i sa vodom u porama (crveno – momenti, plavo – sile)

U tabeli 1. prikazane su vrednosti faktora sigurnosti određene u softveru SLOPE/W prema odabranim metodama proračuna, za različite vrednosti ugla trenja tla i za različita stanja pornih pritisa. Vrednosti faktora sigurnosti značajno variraju u zavisnosti od odabrane metode proračuna stabilnosti klizišta, ali i od ulaznih parametara proračunskog modela.

Razmatranjem više karakterističnih slučajeva, analitičkim metodama proračuna je ocenjeno da su najnepovoljniji slučajevi, za datu kliznu površinu, kada su vode Dunava sa nižim vodostajem (74 m), a parametri otpornosti na smicanje (ugao trenja tla) duž klizne ravni minimalni. Prema numeričkoj metodi proračuna, nepovoljniji je slučaj sa maksimalnim vodostajem Dunava (na 79 m).

Tabela 1. Vrednosti faktora sigurnosti F_s određene u softveru SLOPE/W

	φ [°]	Morgenstern-Price	Bishop	Sarma	Janbu	Fellenius	MKE
Bez pornog pritiska	5	1,189	1,574	1,210	1,156	0,841	1,197
	7	1,669	2,209	1,698	1,622	1,181	1,679
	10	2,397	3,172	2,439	2,329	1,696	2,412
Nivo Dunava na 74 m	5	0,842	1,109	0,852	0,817	0,599	0,655
	7	1,182	1,556	1,196	1,147	0,841	0,919
	10	1,697	2,239	1,718	1,647	1,209	1,320
Nivo Dunava na 79 m	5	0,867	1,152	0,874	0,838	0,620	0,573
	7	1,217	1,617	1,226	1,176	0,870	0,804
	10	1,748	2,322	1,763	1,689	1,249	1,154

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani najvažniji rezultati dobijeni korišćenjem šest različitih metoda proračuna stabilnosti klizišta.

Za primer proračuna korišćeno je realno klizište u zoni mosta „Sloboda“ u Novom Sadu.

Relativno velik raspon rezultata dobijenih različitim metodama proračuna ukazuje na značaj izbora odgovarajuće metode proračuna, te razumevanja mogućnosti i ograničenja odabrane metode.

Za sva klizišta neophodno je izvesti dovoljan obim geotehničkih istražnih radova i time obezbediti pouzdane ulazne parametre svojstava tla, koji će dalje voditi do pouzdanih rezultata.

Za svako klizište neophodno je precizno definisati geometriju klizišta, parametre svojstava tla naročito u zoni klizne ravni i izvršiti potrebne proračune.

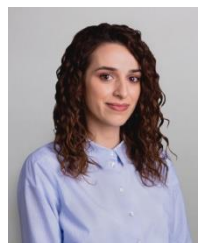
6. LITERATURA

- [1] P.Mitrović, „Sanacija klizišta i nedovoljno nosivog tla“, AGM knjiga, Beograd, 2013
- [2] M.M.Maksimović, „Mehanika tla“, GrosKNJIGA, Beograd, 1955
- [3] Đogo, M., Vasić, M., (2011): Landslide in the area of the bridge on the Danube in Novi Sad. Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering, Volume 164, Issue 1, pp. 3-10, Thomas Telford, London. ISSN: 1353-2618, E-ISSN: 1751-8563, DOI: 10.1680/geng.2011.164.1.3

- [4] Vasić, M., Đogo, M., Jelisavac, B., (2015): Terrain drainage in the landslide area on the Danube slope in Novi Sad. Technical Gazette, Volume 22, Number 4, pp. 1075-1083, Technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University, Osijek. ISSN: 1330-3651, E-ISSN: 1848-6339, DOI: 10.17559/TV-20140408131132

- [5] <http://downloads.geo-slope.com/geostudioresources/books/11/0/SLOPE%20Modeling.pdf> (pristupljeno u septembru 2020.)

Kratka biografija:



Tijana Majkić rođena je u Vukovaru 1994. god. Zvanje diplomiranog inženjera građevinarstva stekla je oktobra 2018. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Konstrukcije odbranila je 2020.god. kontakt: tijanamsm@gmail.com

IMPLEMENTACIJA BIM-A U ODRŽAVANJU GRAĐEVINSKIH OBJEKATA**BIM IMPLEMENTATION IN MAINTENANCE MANAGEMENT**Ilija Trzin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ORGANIZACIJA I TEHNOLOGIJA
GRAĐENJA**

Kratak sadržaj – BIM (eng. Building Information Modeling) je izgradnja digitalnog integrisanog modela (informacija) postojeće ili buduće izgrađene okoline.

Ključne reči: BIM, održavanje građevinskih objekata, strategija implementacije, građevinska industrija, informacioni model zgrade

Abstract – BIM (Building Information Modeling) is the construction of a digital integrated model (information) of an existing or future built environment.

Keywords: BIM, building maintenance, implementation strategy, construction industry

1. UVOD

Čovečanstvo je zainteresovano za izgradnju građevinskih objekata hiljadama godina unazad, međutim, građevinski projekti su obično preveliki da bi ih pojedinac mogao sam ostvariti, tako da se od samog početka ispoljava potreba za saradnjom grupe ljudi na ovakvim nastojanjima. Koncepti BIM-a mogu se pratiti od najranijih dana rada na računaru 1960-ih godina, a “pravi” programi modeliranja počeli su da se pojavljuju 1970-ih i 1980-ih.

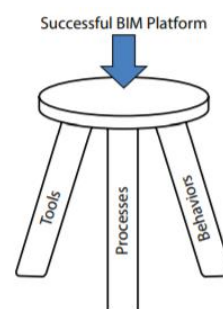
Stvarni početak BIM-a mnogi vezuju za razvoj softverskog programa ArchiCAD, koji se desio 1982. godine u Mađarskoj.

Sledeći bitan korak jeste stvaranje Revit-a, 2000. godine, kojim se doživljava stvarni pomak ka efektivnoj primeni BIM softvera. Iako je tehnologija na kojoj se zasniva BIM postojala dosta vremena, njena primena i usvajanje u građevinarstvu dešavala se relativno sporo, no danas je nezamislivo raditi velike projekte bez njene upotrebe.

1.1. BIM – Building Information Modeling

BIM (eng. Building Information Modeling) je izgradnja digitalnog integrisanog modela (informacije) postojeće ili buduće izgrađene okoline. BIM može predstaviti kompletan životni vek objekta, od procesa gradnje do scenarija korišćenja, tj. održavanja objekta.

Za uspešan BIM projekat potrebno je sjediniti sledeće tri stvari (metaforično prikazane na slici 1., pomoću stolice): proces, tehnologija, ponašanje.



Slika 1. Stolica na 3 noge, koje metaforički predstavljaju ključne delove uspešnog BIM projekta [1]

BIM projekat je standardni građevinski projekat na kojem je primenjen BIM pristup, odnosno to je projekat koji posebnu važnost daje razmeni i iskorišćavanju tačnih i pravovremenih informacija u svim fazama projekta i među svim projektnim saradnicima.

BIM modeli izgrađeni su od skupa BIM elemenata.

BIM elementi su 2D i 3D geometrijska reprezentacija fizičkih elemenata, kao što su npr. vrata, prozori, oprema, zidovi itd.

1.2. Facility Management

Facility Management – FM se bavi upravljanjem i održavanjem izgrađenih objekata u fazi eksploatacije kroz integraciju ljudi, mesta, procesa i tehnologija.

Primena FM-a ima za cilj da omogući:

- strateško, efikasno i precizno upravljanje izgrađenim okruženjem,
- optimizaciju performansi,
- poboljšanje kvaliteta,
- smanjenje troškova, kontrolu i transparentnost budžeta,
- kontrolu statusa procesa u bilo kom trenutku.

Zbog dodatnih ulaganja i nakon izgradnje objekta, potrebno je definisati celokupan životni vek objekta (Tabela 1.), razlog ovome su velika sredstva uložena u izgradnju, pa je očekivano da u interesu investitora bude racionalno upravljanje eksploatacijom (kako bi brže povratio uložena sredstva).

Tabela 1. Životni vek objekta [2]

Faza 1	Faza 2	Faza 3	Faza 4	Faza 5	Faza 6
Definisanje potreba	Planiranje i projektovanje	Izgradnja	Useljenje i početak korišćenja	Eksploatacija	Rušenje, uklanjanje i recikliranje
1 godina	1 - 2 godine	1 - 2 godine	1 godina	30 - 50 godina	1 godina

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Igor Peško.

1.3. Održavanje zgrada

Održavanje objekta se definiše kao stalna aktivnost (ulaganje sredstava), tokom celog perioda korišćenja objekta, koja objektu kao celini i svim njegovim delovima, omogućava određeni nivo uslužnosti.

Postoje standardi za održavanje elemenata zgrada koji se moraju ispuniti. Standardima se određuje donja dopustiva granica kvaliteta koju, zbog trošenja ili starenja elementa, sklop i zgrada moraju imati. Njima treba da budu zadovoljeni svi bitni uslovi zgrade (stabilnost, zaštita od požara, zaštita od buke, zaštita od gubitka toplote i dr.), svi bitni funkcionalni uslovi za upotrebu (svetlo, grejanje, hlađenje, čišćenje i dr.) i estetski uslovi (izgled zidova, plafona, podova, kvalitet pojedinih elemenata i dr.).

Finansijski pokazatelji investicionih ulaganja, razvijenih zemalja, u stambeni fond, pokazuju da sredstva uložena u održavanje postojećih zgrada sve više nadmašuju sredstva uložena u izgradnju novih. Prema tome, neophodno je planirati trošenje novčanih sredstava za održavanje.

1.3. Održavanje puteva

Najobimniji i najskuplji deo redovnog održavanja javnih puteva predstavlja zimska služba, koja obuhvata niz delatnosti, radova i poslova neophodno potrebnih za održavanje prohodnosti puteva u zimskim uslovima za odgovarajuće bezbedno odvijanje saobraćaja na putevima. Pod održavanjem puteva u zimskom periodu podrazumeva se:

- organizacija zimske službe i vršenje poslova na obezbeđenju prohodnosti puteva u zimskom periodu (čišćenje snega, posipanje kolovoza solju i agregatima, odbacivanje snega iz useka i sa objekta i ostali poslovi koji obezbeđuju odvijanje saobraćaja u zimskom periodu),
- izvršavanje ostalih poslova potrebnih za obezbeđivanje prohodnosti puteva (ispuštanje vode sa kolovoza, održavanje kanala, održavanje saobraćajne signalizacije – stalne i privremene, popravka sigurnosnih ograda, krpljenje udarnih rupa, oštećenih bankina, uklanjanje blata sa kolovoza itd.).

2. CAD VS. BIM

Inženjeri su decenijama koristili CAD programe, poput AutoDesk-ovog AutoCAD-a, za stvaranje različitih projekata. Pomoću ovih programa se dobijaju izuzetno detaljni 2D i 3D modeli.

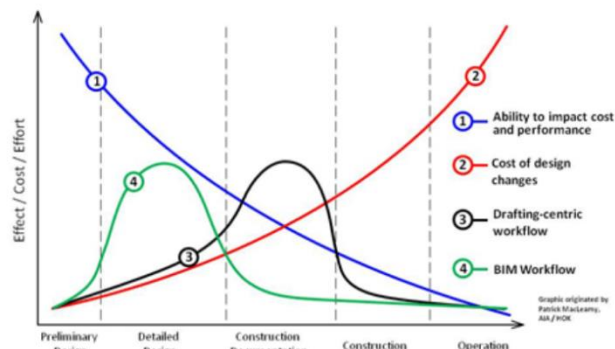
Međutim, za razliku od klasičnog CAD koncepta, BIM prevazilazi doživaljaj projekta kao običnog crteža, a prelazak sa običnog CAD softvera na BIM nije prosta promena radnog okruženja već ulazak u potpuno novi svet projektovanja.

2.1. Prednosti BIM-a

- Poboljšani protok informacija
- Vizuelizacija u cilju boljeg dizajna
- Poboljšana procena troškova
- Poboljšana analiza energije
- Smanjeni troškovi izgradnje
- Istorija gradnje

2.2. Obim projekantskih usluga

Slika 2. ilustruje opšti odnos između dizajnerskog napora i vremena i kako je napor tradicionalno raspodeljen (linija 3). Proces dobro funkcioniše sve dok se ne izvrši neizbežna promena dizajna, u tom trenutku su potrebna ažuriranja koja zahtevaju dosta vremena tokom crtanja, a takođe se često javljaju određene greške. Sada ako pogledamo liniju 4, koja predstavlja dizajniranje pomoću BIM-a, vidimo da se njegovom upotrebom u procesu rada većina napora premešta nazad u početnu fazu, kada je mogućnost uticaja na preformanse projekta velika, a troškovi unošenja promena niski. Ovo omogućava da inženjeri više vremena provedu kako bi optimizirali dizajn, a manje vremena da troše na dokumentaciju.



Slika 2. Grafik koji je dao Patrick MacLeamy (2004) [3]

2.3. Razvijenost BIM modela

The American Institute of Architects (AIA) razvio je 2008. godine okvir za nivoe razvijenosti (eng. Level of Development - LOD). LOD se sastoji od nivoa detaljnosti (eng. Level of Detail), to jest nivoa koji se primenjuje da se osigura zajedničko razumevanje informacijskih zahteva u različitim fazama projekta i nivoa informacija (eng. Level of Information), to jest zahtevanih negrafičkih informacija kroz projekat.

ISO 19650 deo 3, definiše implementaciju BIM-a kod korišćenja i održavanja građevinskih objekata. Postoji ukupno pet glavnih nivoa, to jest faza LOD-a: 100, 200, 300, 400, 500, s velikim opsegom definicija (Slika 3.).



Slika 3. Nivori razvijenosti BIM modela [4]

3. IMPLEMENTACIJA BIM-A U ODRŽAVANJU GRAĐEVINSKIH OBJEKATA

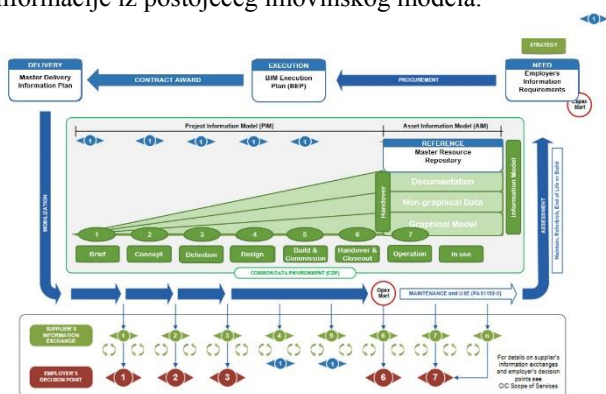
BIM osigurava vredne informacije o trenutnom stanju građevina te omogućava analizu alternativa. Prilikom kreiranja BIM modela sadržane su informacije, na primer o trajnosti materijala, te troškovima njihove zamene, što svakako pomaže vlasnicima da shvate prednosti ulaganja u materijale i sisteme koji možda zahtevaju veća početna ulaganja, ali osiguravaju veći povrat tokom životnog veka objekta. Vlasnici mogu isto tako iskoristiti prednosti BIM modela stvorenog nakon izgradnje za vizualizaciju prostora, pregled promena u rasporedu ili predlaganje redizajniranja.

3.1. Informacije za upravljanje građevinskim objektima

Pristup informacijama jedan je od ključnih elemenata koji FM menadžer treba da ima kako bi doneo ispravne odluke o istima. On mora biti u stanju „čitati“ objekte, znati kako se ponašaju tokom vremena te meriti uporedo izvedbu jednog objekta sa drugim. Treba da razume kojom vrstom i namenom objekta upravlja, kakvi su sve sistemi postavljeni, koje su komponente i gde se nalaze, mora poznavati upute i priručnike, garancije i sl., za velike građevine.

Ciklus isporuke informacija sa dve karakteristične početne tačke (Slika 4.) :

1. CAPEX početna tačka – za samostalne projekte, gde je središte pažnje na učinkovitosti isporuke kapitala, a ne na postojećim operativnim zahtevima. Počinje sa razvojem projektnog BIM sažetka.
2. OPEX početna tačka – za projekte koji su deo većeg imovinskog skupa ili za projekte koji uključuju postojeću imovinu. Ta faza počinje sa FM planom i oslanja se na informacije iz postojećeg imovinskog modela.



Slika 4. Ciklus isporuke informacija [5]

Jedan od važnih aspekata BIM pristupa jeste da predstavlja jedinstveno skladište informacija koji podupire širok spektar aktivnosti u životnom veku objekta, uključujući projektovanje, analizu, procene troškova, nabavu opreme, simulacije građenja, održavanje građevine i upravljanje građevinom. Budući da se različite struke koriste različitim BIM alatima, preduslov je da je BIM model interoperabilan među različitim platformama. COBie metoda omogućava prihvatanje i deljenje informacija između različitih BIM platformi u procesu građenja kako bi te informacije bile pristupačne i upotrebljene u fazi upravljanja. Prihvaćena informacija nije grafička i može biti pregledana u tabličnom formatu, te može postojati izvan BIM modela. Metoda objašnjava kako su informacije važne za upravljanje građevinskim objektima prikupljene i pohranjene u sklopu BIM procesa te omogućavaju kasnije korišćenje od strane menadžera objekta. COBie norma nije ni proizvod ni softver nego standardizovana metoda za prikupljanje podataka tokom projekta građenja i životnog veka građevine.

3.2. Integracija BIM-a i održavanja građevinskih objekata u početnim fazama projekta

Glavna karakteristika uvođenja BIM-a u projekte gradnje koji su tek u začetku jeste integracija održavanja i početnih investicijskih faza projekta, tj. saradnja struč-

njaka za upravljanje održavanjem i projekatnata koji bi trebali zajedno raditi u fazi projektovanja objekta. Naime, stručnjaci za održavanje se tokom svog rada susreću sa velikom količinom informacija koje moraju pronalaziti, analizirati i ažurirati sa svakom provedenom aktivnošću, a BIM pruža skladište svih tih informacija u samo jednoj elektroničkoj datoteci. Takođe, prema naučnim istraživanjima 50 % problema vezanih uz održavanje može se izbeći ako se njihovi glavni uzroci otklone već u fazi projektovanja.

3.3. Integracija BIM-a i održavanja postojećih građevinskih objekata

Tokom održavanja postojećih građevinskih objekata implementacija BIM-a zahteva dodatne aktivnosti. Radi oblikovanja BIM modela za već postojeći građevinski objekat, potrebno je doći do podataka o geometriji i topologiji objekta koji nisu dostupni u projektnoj dokumentaciji. To se radi posebnim tehnikama snimanja podataka i istražnim radovima, a najpoznatije su fotogrametrija i lasersko skeniranje.

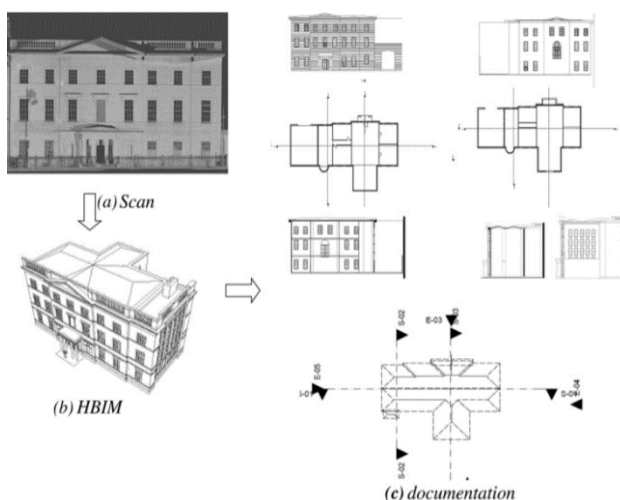
Među postojećim građevinskim objektima posebno zahtevni za održavanje su istorijski objekti i kulturno nasleđe. Njihove specifičnosti su često u tehničkom pogledu nepravilni oblici građevnih elemenata, ornamenti, skulpturalni i umetnički detalji. Zbog svojih specifičnosti u implementaciji BIM-a, za istorijske objekte javlja se pojam HBIM (eng. Historic Building Information Modelling) koji je sinonim za BIM modelovanje istorijskih objekata i kulturnog nasleđa.

HBIM funkcioniše kao dodatak BIM-u i on je prototip baze parametarskih elemenata načinjenih od informacija o istorijskim objektima. Mogućnosti koje BIM pruža za istorijske građevine brže su i jednostavnije se prepoznaju stanja u kojem se objekat nalazi, prepoznaje se starenje i propadanje elemenata te planiranje popravaka, rekonstrukcije i uopšteno korišćenja. Takođe, BIM pruža mogućnosti prikaza istorijskog objekta u tri dimenzije te stvaranje virtualne realnosti za građevine, što može poslužiti u edukativne i turističke svrhe. Uspešna upotreba HBIM-a na primeru dvorca Valentino u Italiji može se videti na slici 6.



Slika 6. BIM modelovanje nepravilnog zida u dvorcu Valentino [4]

Na slici 7. ilustrovani su koraci potrebni za dobijanje automatizovanog dokumenta istorijske zgrade.



Slika 7. Od skeniranja preko HBIM-a do automatizovane dokumentacije [6]

3.4. Strategija implementacije BIM-a u održavanju građevinskih objekata

Neke od glavnih odrednica implementacije BIM-a su:

- smernice vlada pojedinih zemalja i industrije,
- stvaranje konkurentne prednosti u struci,
- nacionalni i globalni standardi,
- nacionalne i globalne BIM baze podataka,
- pravna regulacija BIM procesa,
- integrisani sistemi nabavke,
- regulisanje potrebnih informacija,
- rangiranje BIM kompetencija,
- edukacije i istraživanja za područje BIM-a,
- promene u poslovnim procesima.

Strategija implementacije podrazumeva 3 faze procesa: fazu prilagođavanja, fazu pilot-projekata i fazu implementacije.

3.5. Implementacija BIM-a u održavanju građevinskih objekata u Srbiji

U Srbiji, kao i u svetu, aktivnosti upravljanja građevinskim objektima i njihovim održavanjem poslednjih godina se sve više razvijaju. Generalno je postojeći fond građevinskih objekata značajan u odnosu na novoizgrađene objekte, te postoji potreba za njegovim adekvatnim održavanjem.

Prateći primer zemalja koje su razvijenije u implementaciji BIM-a, može se očekivati da se u Srbiji s vremenom uvede obaveza korišćenja BIM-a za sve javne projekte.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Građevinska industrija temelji se na složenim projektima u kojima su neki od ključnih problema kašnjenja gradnje, neuredna gradilišta, teški i opasni uslovi rada, loš kvalitet obavljenog rada te brojne nesreće na gradilištima koje su opasne za ljudski život.

Kao rešenje mnogih problema navodi se uvođenje informacionih tehnologija u građevinsku industriju što pridonosi produktivnijem i efektivnijem upravljanju projektima.

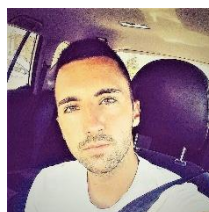
Stoga je digitalizacija zahvatila građevinsku industriju te je značila ulazak i primenu specifičnih računarskih alata.

Bez obzira na sve veći razvoj brojnih informacionih alata za potrebe građevinarstva i sve veću njihovu primenu, digitalizacija građevinske industrije je na vrlo niskom nivou.

5. LITERATURA

- [1] Brad Hardin Dave McCool - BIM and Construction Management Proven Tools, Methods and Workflows
- [2] Prof. dr Branislav Ivković - Održavanje objekata, Katedra za menadžment, tehnologiju i informatiku u građevinarstvu, Građevinski fakultet Beograd
- [3] Adam Strafaci - What does BIM mean for civil engineers?
- [4] Hrvatska komora inženjera građevinarstva - Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu
- [5] Mehmet Yalcinkaya and David Arditi - Building information modeling (BIM) and the construction management body of knowledge
- [6] Maurice Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia - Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture, Dublin Institute of Technology and Trinity College, Ireland

Kratka biografija:



Ilija Trzin rođen je u Novom Sadu 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Implementacija BIM-a u održavanju građevinskih objekata odbranio je 2020.god.

kontakt: ilijatrzin23@gmail.com

**ПРОЕКТОВАЊЕ КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ СА ПРИМЕРОМ УПОТРЕБЕ
ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА CECS 2.0****DESIGN OF ROUNDABOUT WITH EXAMPLE OF APPLICATION
OF THE SOFTWARE CECS 2.0**

Милан Мајкић, Милош Шешлија, Факултет Техничких Наука, Нови Сад

Област - ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај - У раду су приказане могућности примене програмског пакета CECS 2.0 – Civil Engineering CAD Solution приликом анализе и израде главног пројекта побољшања опасног места раскрснице државних путева IV реда бр. 20, IIА реда бр. 123 и општинског пута Сремска Митровица – Велики Радинци код наплатне станице на аутопуту А3. Описан је поступак пројектовања побољшања опасног места раскрснице државних путева, који између осталог укључује формирање ДМТ-а дигиталног модела терена (DTM), извлачење осовине пута и ивица коловоза (трасирање), цртање подужног профила и нивелете пута, цртање попречних профила, формирање шеме витоперења на подужном профилу, формирање модела коловоза и нивелационог плана.

Кључне речи: пројектовање кружне раскрснице, CECS 2.0, појачано одржавање пута

Abstract – This paper presents the possibilities of application of the software package CECS 2.0 - Civil Engineering CAD Solution during the analysis and design of the main project for the improvement of the dangerous place of the intersection of state roads IV order no. 20, IIА order no. 123 and the municipal road Sremska Mitrovica - Veliki Radinci near the toll station on the A3 highway. The process of designing the improvement of the dangerous place of the intersection of state roads is described, which, among other things, includes the formation of DMT digital terrain model (DTM), extraction of the road axis and road edges (tracing), drawing the longitudinal profile and road level, drawing cross sections on the longitudinal profile, formation of the road model, formation of the leveling plan.

Keywords: Design of roundabout, CECS 2.0, heavy maintenance

1. УВОД

Кружне раскрснице се у последњих петнаест година интензивно граде у земљама окружења, па самим тим и у Републици Србији. Један од принципа је и тежња да се, у оквиру градске путне мреже, постигне одређени ниво стандардизације решења површинских раскрсница што се, у развијеним земљама, постиже дефинисањем критеријума и пројектних стандарда за површинске раскрснице у градовима.

НАПОМЕНА

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био доц. др Милош Шешлија.

Битна карактеристика кружних раскрсница по којима се разликују од класичних површинских раскрсница јесте то да има за функцију прекид континуитета главног потеза, смањење брзина у зони раскрснице и мању тежину последица незгода. Разна истраживања показују да су кружне раскрснице безбедније у односу на класичне раскрснице са директним укрштањем, односно да се на њима бележи мањи број саобраћајних незгода.

2. ПРИМЕНА ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА CECS 2.0 ПРИ ПРОЈЕКТОВАЊУ

Програмски пакет CECS 2.0 садржи све неопходне алате за пројектовање свих линијских и површинских објеката у области нискоградње. CECS 2.0 као своју основу може да користи AutoCAD (било коју верзију AutoCAD-a), BricsCAD или ZWCAD+. Применом програмског пакета CECS 2.0, кориснику се пружа могућност да анализира, пројектује и моделира: Дигитални Модел Терена ДМТ (DTM - Digital Terrain Model), ситуациони план, подужни профил, попречне профиле, 3D моделе линијских и површинских елемената и објеката, моделира косине итд. На услузи кориснику су бројне геодетске алатке, пројектовање железница, провера стабилности потпорних зидова, као и многе помоћне команде.

Једна од знатних предности овог програмског пакета је употреба 3Д моделовања које представља један он већих изазова приликом израде пројектног решења раскрснице са кружним током.

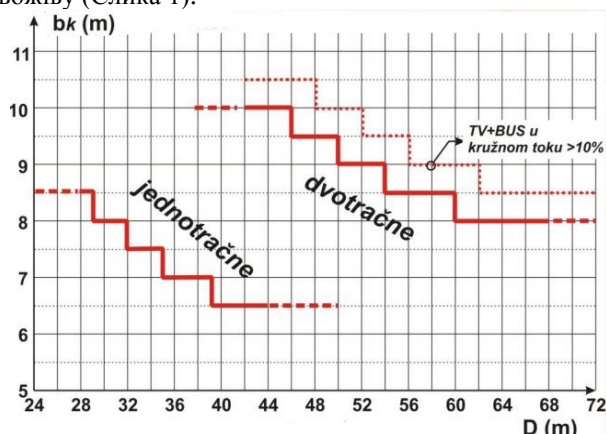
**3. ИЗРАДА ПРОЈЕКТНОГ РЕШЕЊА
РАСКРСНИЦЕ СА КРУЖНИМ ТОКОМ**

Пројектовање раскрснице са кружним током се врши на претходно припремљеним подлогама (КТП, инжењерско-геолошке и геотехничке подлоге, хидротехничке подлоге, архивски документи...), уз поштовање прописа, пројектног задатка, планских докумената и претпројектних услова. Свака од набројаних фаза се састоји од мноштва активности и подфаза.

**3.1 Дефинисање елемената ситуационог плана
кружне раскрснице**

Свака раскрсница је специфична, зато у оквиру пројектно-техничке елементе можемо да предложимо у неким препорученим границама, које су директно повезане са саобраћајно-техничким и безбедносним аспектима.

Ширина кружног коловоза (b_k) дефинисане су у функцији пречника уписане кружнице (D) и комбинацијом меродавних возила за истовремену паралелну вожњу (Слика 1).

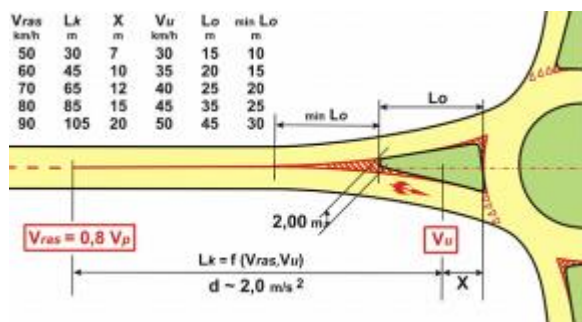


Слика 1. Ширина кружног коловоза једнотрачне раскрснице

Сви елементи ситуационог плана раскрснице са кружним током су дефинисани у складу са већ утврђеним принципима који за циљ имају обезбеђивање адекватног простора за формирање острва за каналисање токова.

3.2 Обликовање прикључних путева са дефинисањем осовина

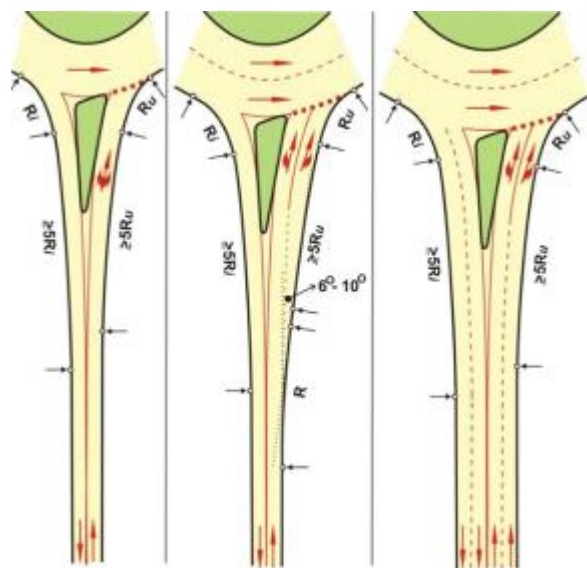
Каналисање кружних раскрсница подразумева обликовање кружног подеоника и острва за раздвајање саобраћајних токова на свим прикључним правцима да би се раздвојили и усмерили токови уливања и изливања у циљу обезбеђивања услова у погледу захтеваног нивоа функције, безбедности и релативне хомогености брзина на кружној раскрсници. Услови под којим се дефинисани параметри обликовања прикључних праваца кружне раскрснице приказани су у наредној слици.



Слика 2. Обликовање прикључака раскрсница са кружним током

Уливи у кружни коловоз се ограничавају на једну или две уливне траке. Две уливне траке се могу формирати проширењем једне возне траке прикључног правца у зони улива или су на прикључним правцима са две возне траке по смеру нормалан случај. Конфигурација уливних трака двотрачних улива у директој је зависности од укупног саобраћајног оптерећења улива и расподеле по саобраћајним струјама (право, леви десно) са посебним нагласком на интензитет левих скретања. За улив могућа је примена једне изливне траке, чиме се умањује

могућност погрешног маневра односно изливање из леве траке кружног коловоза.



Слика 3. Обликовање улива и излива кружних раскрсница

На двотрачним кружним раскрсницама (тип 1:2:1:2 и тип 2:2:2:2) обавезно је максимално усмеравање улива и излива. Обликовање острва за раздвајање улива и излива зависи од степена усмеравања возила. Након обликовања прикључних путева, приступа се дефинисању осовина прикључних праваца (уз претходно наведене услове). Новопројектоване осовине прикључних праваца постављају се приближно осовини постојећег стања и кроз средине новопројектованих разделних острва уз поштовање основних услова који су наведени у овом раду.

4. ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Постојећа четворокрака раскрсница формирана је на укрштању државних путева IV реда бр. 20 и IIА реда бр. 123. Западни и јужни крак представљају трасу државног пута IIА реда бр. 123 односно IV реда бр. 20. Северни крак представља локални пут за насељено место Велики Радинци док источни представља излазак на петљу аутопута А3.

4.1 Мера рехабилитације коловоза

Пројектом коловозне конструкције, израђеног за потребе реконструкције ове раскрснице, дефинисан је састав слојева у односу на носива својства постељице и предвиђеног саобраћајног оптерећења.

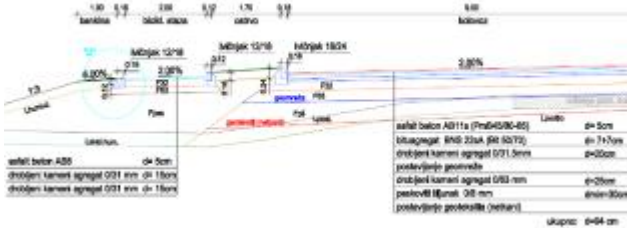
На основу урађених анализа и испитивања извршеним истражним радовима, утврђене су следеће мере рехабилитације:

Тотална реконструкција (коловозна конструкција у зони кружног тока):

- АБ 11 (ПмБ 45/80-65) - $d = 5$ cm,
- БНС 22сА (Бит 50/70 - $d = 7$ cm,
- БНС 22сА (Бит 50/70 - $d = 7$ cm,
- ДКА 0/31.5 мм - $d = 20$ cm,
- Постављање геомреже
- ДКА 0/63 мм - $d = 25$ cm,
- Песковити шљунак - $d = 30$ cm,
- Сепарациони геотекстил

На делу постојеће коловозне конструкције:

- АБ 11 (ПМБ 45/80-65) - $d = 5 \text{ cm}$,
- БНС 22сА (Бит 50/70 - $d = 7 \text{ cm}$,
- БНС 22сА (Бит 50/70 - $d = 7 \text{ cm}$,
- ДКА 0/31.5 мм - $d = 20 \text{ cm}$,
- Постављање геомреже
- Постојећи неvezани слој



Слика 4. Нормални попречни профил

4.2 Ситуационо решење

Предметна кружна раскрсница формирана је у пресеку осовина праваца под углом од 86° - 90° , који су усмерени ка центру кружног подеоника. Спољашњи пречник кружнице износи $D=60.0\text{ m}$. Положај кружног подеоника ($D=39.0\text{ m}$), ширина прелазног коловоза (1.5 m) и ширина коловоза у кружном току ($b_k=2*4.5\text{ m}$) условљени су и синхронизовани проласком меродавном (тешко теретно возило са полуприколицом).

Пројектована кружна раскрсница дефинисана је са 4 осовине које су усклађене са постојећим осовинама коловоза са примењеним одговарајућим хоризонталним кривинама ($R=200-300m$) на скретању праваца осовина. Осовина на државном путу IB реда дефинисана је теменима T1-T6 са хоризонталним кривинама $R=200 - 250 m$. Осовина на државном путу ПА реда дефинисана је теменима T7 и T8 са хоризонталном кривином $R=300 m$. Осовина 3 и 4 дефинисане су теменима T9-T11 односно T12 и T13 са примењеним хоризонталним кривинама $R=300 m$. Пројектом је предвиђено рушење постојеће коловозне конструкције до коте постелице у зони кружног токаса израдом комплетно нових слојева и употребом геотекстила и геомреже, док се на прикључним працима слојеви постојеће коловозне конструкције уклањају до коте $-30 cm$. Рушење саобраћајних површина је уследило и изградња физичких острва на прикључним правцима у зони зони кружног тока ради одвајања и усмеравања саобраћајних токова, као и изградња бициклистичких стаза које одговарају новопроектваном решењу раскрснице.



Слика 5. Ситуациони план кружне раскрснице

Пројектована кружна раскрсница дефинисана је са 4 осовине које су усклађене са постојећим осовинама коловоза са примењеним одговарајућим хоризонталним кривинама ($R=200-300m$) на скретању праваца осовина. Осовина на државном путу IV реда дефинисана је теменима T1-T6 са хоризонталним кривинама $R=200 - 250 m$. Осовина на државном путу IIА реда дефинисана је теменима T7 и T8 са хоризонталном кривином $R=300 m$. Осовина 3 и 4 дефинисане су теменима T9-T11 односно T12 и T13 са примењеним хоризонталним кривинама $R=300 m$.

4.3 Подужни профил

Нивелете саобраћајница су одређене из услова усвојеног решења коловозне конструкције, минималне измене попречних и подужних нагиба и обезбеђења одводњавања свих саобраћајних површина путем новопроектованих сливника. Пројектоване нивелете су на почетку уклопљене у постојеће стање. Нагиби нивелете крећу се у распону од минималног $i_{\min}=0.14\%$ до максималног $i_{\max}=2.0\%$. За вертикалне преломе нивелета предвиђена су заобљења у распону од $R_{v_{\min-\max}}=400-4000m$. Пројектовани попречни нагиб коловоза саобраћајница је усклађен са постојећим нагибима и износи $i_p=1.2\%-3.3\%$. Попречни нагиб коловоза у кружном току је витоперен, једностран и износи $i_p=2.5\%$ док је на прелазном колозу $i_p=4.0\%$.

4.4 Одводњавање

Одводњавање саобраћајних и зелених површина предвиђено је делом новим системом одводњавања (сливницима) а делом новопроектованим каналима. Проектоване сливнике повезати одговарајућим цевима на суседни сливник или директно испустити у канал онако како је приказано у Нивелационом плану. Распоред сливника и везе су приказане на Нивелационом плану.



Слика 6. Нивелациони план

4.5 Инсталације

Подаци добијени од Инвеститора и власника инсталација се огледају у копији плана водова са положајем подземних инсталација, као и претходне услове и сагласности власника свих инсталација. Све инсталације су приказане на Синхрон плану. С обзиром да су предузећа „Електромреже Србије“, „ЕПС Дистрибуција“ и „Србијагас“ у издатим пројектним условима констатовали да на поменутој локацији немају инсталације које су у њиховом власништву, па сходно томе на синхрон плану су

приказане инсталација у власништву „Сремгас“, „Телеком Србија“ и ЈКП „Водовод“.

У пројектним условима које су издале „Електромреже Србије“ напоменуто је да се у непосредној близини предметног објекта налазе далеководи који су у власништву „Сирмиум Стила“ (који је закупљен од стране Металфер Стил Милл) и Железнице Србије. Сходно томе, након додатног обраћања наведеним власницима далековода, исти су се изјаснили да немају додатне услове за реализацију предметног пројекта.

У техничким условима које је издало предузеће „Телеком Србија“ напомиње се да гласни грађевински пројекат у случају измештања инсталација треба да садржи техничко решење измештања и заштите постојеће ТК инфраструктуре. Са обзиром да новопроектковано решење не изискује измештање постојећих инсталација, усаглашено је са представником власника инсталација да се не ради додатна документација о измештању инсталација. Пројектним решењем, уз договор са представником инвеститора“ предвиђене су позиције за изградњу пројекта измештања водовода и гасовода које су ЈКП „Водовод“ односно „Сремгас“.

5. ЗАКЉУЧАК

Циљ примене и увођења кружних раскрсница јесте ефикасније и безбедније функционисање саобраћаја. Међутим изградња кружних раскрсница поред свих својих предности се мора радити у складу са прописима и стандардима, која ће и поред свега наведеног представљати једну „хармонизовану“ средину у погледу безбедности саобраћаја и захтеване геометрије, ефикасног одводњавања и могућност уклапања пројектованог решења у оквире постојећег стања. Оно што је битно јесте да сваки софтвер представља једну врсту алата који за циљ има бржи и једноставнији начин добијање тачних информација и резултата али да избог коначног решења и сагледавање целокупне слике пројектног решења, остаје на избору пројектанта.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута (Сл. гласник РС број 50/11)
- [2] Скрипта са предавањима из предмета: „Одабрана поглавља из пројектовања путева“ Доц. Др Небојша Радовић, дипл.инж.грађ. Факултет техничких наука, Универзитета у Новом Саду, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, школске 2012/2013 године.
- [3] CECS 2.0 Manual, CAD Solutions, Неде Спасојевић 1/17, 11070 Нови Београд, 2011 године.

Кратка биографија:



Милан Мајкић, рођен је у Новом Саду 1987. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства – Путеви, железнице и аеродроми је одбранио 2020. године. контакт: milan.majkic@hotmail.com



Милош Шешлија, рођен је у Новом Саду 1987. год.. Докторирао је на Факултету техничких наука у Новом Саду 2018. год., а од 2019. год. је у звању доцента на Катедри за геотехнику и саобраћајнице.

HIDRAULIČKA ANALIZA KANALISANJA ATMOSFERSKIH VODA U NASELJU BARANDA**HYDRAULIC ANALYSIS OF ATMOSPHERIC WATER SEWERAGE IN BARANDA SETTLEMENT**

Gordana Bjelica, Matija Stipić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast- GRAĐEVINARSTVO – HIDROTEHNIKA

Kratak sadržaj – U radu je izrađen model atmosferske kanalizacije u naselju Baranda. Pre svega je izvršena analiza terena i padavina, a potom je trasirana kanalizaciona mreža. Izvršen je hidraulički proračun dobijenog modela prilikom padavina dvogodišnjeg povratnog perioda pomoću softverskog paketa EPA SWMM. Nakon toga je izvršena hidraulička analiza modela. Potom je izvršen hidraulički proračun kada je ista mreža opterećena padavinama desetogodišnjeg povratnog perioda i analizirana je njena opterećenost. Na ovaj način je prikazano koje su tačke u sistemu sa najnepovoljnijim uslovima. Na kraju su upoređeni rezultati hidrauličke analize sistema pri padavinama različitog povratnog perioda.

Ključne reči: Atmosferska kanalizacija, hidraulički proračun, hidraulička analiza

Abstract – The subject of the master's thesis is the development of a model of the atmospheric sewage system in the Baranda settlement. The terrain was analyzed, and the sewerage network was traced. The hydraulic calculation of the model was performed for rainfall whose recurrence period is 2 years by the software package EPA SWMM, and hydraulic analysis of the model was performed, too. Then, a hydraulic calculation for the same model was performed for rainfall whose recurrence period is 10 years, and capacity in that case was analyzed. That was a method to show which points in the system are the weakest. In the end the results of the analysis are compared.

Keywords: Atmospheric sewerage, hydraulic calculation, hydraulic analysis

1. UVOD

Naselje Baranda se nalazi u Vojvodini na ravnom terenu [12]. Klima u ovom predelu ima umereno-kontinentalne karakteristike [11]. Glavna hidrološka arterija proučavanog predela je reka Tamiš, koja u tom delu svog toka ima sve karakteristike ravničarske reke [9]. Tokom godine ima veoma neujednačene vodostaje, a sa svojim malim nagibom u svom toku mnogo meandriira i stvara brojne rukavce, mrtve tokove i slične pojave ravničarskih voda [10].

Nivoi podzemne vode u ovom naselju su veliki, variraju u toku godine i razlika tih nivoa iznosi oko 1,1 m [8]. Iz navedenih razloga javlja se potreba za analizom terena i hidroloških uslova.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Matija Stipić.

Zadatak rada jeste da se trasira mreža i da se podaci dobijeni prethodno pomenutom analizom upotrebe za dimenzionisanje kanalizacije koja odvodi atmosfersku vodu. Zatim da se izvrši analiza dobijenih rezultata, prikažu zaključci i da grafički prikaz izabranog rešenja.

2. KANALIZACIONI SISTEM

Kanalizacioni sistem predstavlja skup građevinskih objekata koji služe za odvođenje otpadnih voda od korisnika do postrojenja za prečišćavanje ili direktnog ispusta u odgovarajući vodoprijemnik. Njega čine: kanalizaciona mreža, objekti na mreži (crpne stanice, reviziona okna, kućni priključci,...), postrojenje za prečišćavanje otpadne vode i ispust vode u vodoprijemnik.

Svaki od ovih elemenata je podjednako bitan za pravilno funkcionisanje kanalizacionog sistema.

Kod projektovanja prvo se određuje mesto na kom će se voda ispuštati u vodoprijemnik. Prilikom trasiranja kolektora prati se konfiguracija terena i mesta na kojima se nalaze prepreke koje je potrebno izbeći, sve u cilju da se dobije što jednostavniji, efikasniji i pouzadniji sistem koji je jeftin za održavanje. Prvo se trasira glavni kolektor, zatim primarni i na kraju sekundarni.

U radu je korišćen separatan sistem kanisanja, odnosno samo sistem za odvođenje atmosferskih voda. Jednom mrežom se atmosferske vode i voda od pranja ulica sakupljaju i odvođe sistemom otvorenih i zatvorenih kanala i ta mreža je većih dimenzija, a drugom mrežom se sanitarne i industrijske otpadne vode posebno sakupljaju i odvođe zajedničkom kanalizacionom mrežom. Separatni sistemi zahtevaju veća početna investiciona ulaganja jer se grade dve odvojene kanalizacione mreže i potreban je veći prostor za njihovo postavljanje.

Odabran je gravitacioni način odvođenja atmosferskih voda u kom se tečenje odvija sa slobodnim vodenim ogledalom. Prednost je u tome što se kao glavna pogonska sila koristi gravitaciona sila i upravo to ovaj sistem čini sistemom sa najširokom upotrebom.

Cevovod se postavlja pod određenim nagibom koji je dovoljan za ostvarivanje dovoljne brzine koja sprečava taloženje suspendovanih materija koje se nalaze u otpadnoj vodi. Na mestima gde su dostignute maksimalne dubine ukopavanja da bi se tečenje moglo nastaviti grade se crpne stanice u koje se ugrađuju pumpe koje otpadnu vodu podižu na viši nivo odakle se opet nastavlja gravitaciono tečenje.

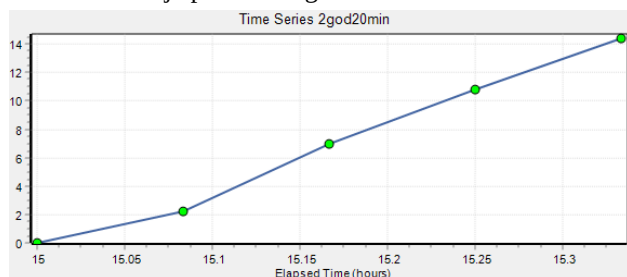
3. ATMOSFERSKE PADAVINE

Pod atmosferskim padavinama se podrazumeva taloženje vode iz atmosfere na površinu zemlje, i one mogu biti u različitim oblicima: kiša, sneg, grad ili ledena kiša. U toku suše proticaji u kanalima usled atmosferske kanalizacije su jednaki nuli, dok za vreme padavina on naglo poraste i najčešće premaši proticaj ostalih otpadnih voda. Zbog toga su proticaji usled atmosferskih padavina veoma promenljivi u toku godine. Da bi se sistem pravilno dimenzionisao neophodno je poznavati osnovne karakteristike kiše a to su trajanje, intenzitet i učestalost padavina [2]. Atmosferska voda može izazvati velike probleme, materijalnu štetu u ekstremnim situacijama čak i gubitak života te je potrebno obezbediti njeno efikasno odvođenje najkraćim putem u najkraćem roku, a sve u skladu sa konfiguracijom terena.

3.1. Merodavne padavine

Prilikom simulacije oticaja i dimenzionisanja atmosferske kanalizacije najvažniji ulazni podatak u proračunu su padavine. Iz praktičnih i ekonomskih razloga sistem se ne može projektovati tako da se obezbedi potpuna zaštita od izlivanja i plavljenja, već se teži zadovoljavajućem odvođenju vode.

U ruralnim područjima ne sme doći do preopterećenja mreže, izlivanja ni do tečenja pod pritiskom u cevima kada se mreža dimenzioniše na kišu povratnog perioda jednom u dve godine. Na slici 1 dat je prikaz sumarne linije kiše u trajanju od 20 minuta povratnog perioda jednom u dve godine koja je korišćena prilikom dimenzionisanja predmetnog sistema.



Slika 1. Sumarna linija kiše povratnog perioda 1 u 2 godine u trajanju od 20 minuta

U ruralnom naselju kao što je Baranda za proveru sistema koristi se kiša povratnog perioda 1 u 10 godina, prilikom koje je dozvoljeno da dođe do tečenja pod pritiskom.

4. OBJEKTI NA MREŽI

Otvoreni kanali su ekonomski najpogodniji jer zahtevaju manje radova, i zbog toga se u praksi često koriste. Kako bi tokom svoje eksploatacije zadržali svoj projektovani poprečni presek potrebno je izdvajati velike sume novca i to predstavlja njihov glavni nedostatak. Takođe, ograničavaju komunikaciju ljudi i mehanizacije, i potrebno je graditi prilaze u vidu propusta. Širina dna kanala uglavnom se usvaja da bude veća od 50 cm, a nagib dna kosina zavisi od karakteristika zemljišta i uglavnom se usvaja u rasponu od 1 do 3. Dubina trapeznog kanala zavisi od topografije terena i trase puta uz koji se postavlja, i ograničena je uslovom da kanal mora biti dovoljno nisko da bi se voda mogla slobodno ulivati u njega. Brzina u kanalima se ograničava od minimalnih 0,3 m/s do maksimalnih 0,9 m/s. Postavljaju

se sa malim podužnim nagibom dna, minimalna dubina ukopavanja je 0,5m a maksimalna 1,3 m. Kada dubina ukopavanja premašuje pomenutu vrednost, onda se prelazi na postavljanje zatvorenih kolektora. Zatvoreni kolektori se takođe koriste i na mestima ukrštanja kanala i puta. Najveća prednost zatvorenih kolektora je to što se oni u potpunosti nalaze ispod zemlje i na taj način su zaštićeni od uticaja saobraćaja i namernih oštećenja od strane čoveka. Maksimalni nagibi dna kolektora se ograničavaju da bi se sprečilo habanje i oštećenje objekata usled prevelike brzine toka. Minimalni nagibi dna se menjaju u zavisnosti od prečnika cevi i oni se propisuju da bi se obezbedila minimalna transportna sposobnost koja omogućava samoispiranje i sprečavanje istaložavanja materijala u kolektoru. Minimalni i maksimalni nagib dna utiču na minimalne i maksimalne brzine toka. Propisuje se da minimalna brzina vode u kolektorima bude 0,6 m/s, a maksimalna se ograničava na 5 m/s jer se ovde radi o odvođenju atmosferskih padavina prilikom kojih su kolektori povremeno puni i zbog toga se brzina ograničava na 5 m/s [1]. Usvojene cevi su korugovane prolipropilenske cevi velikih prečnika [5].

Ostali objekti koje je potrebno postaviti na mreži su slivnici, reviziona okna i kaskade [6].

5. SOFTVER EPA SWMM

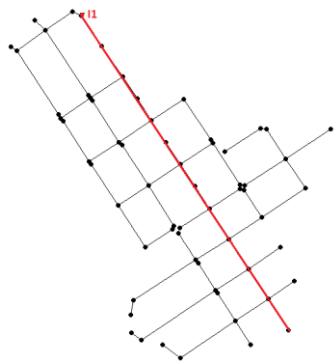
Pomoću softverskog paketa EPA Storm Water Management paketa simulira se proces transformacije padavina u oticaj. Zasniva se na metodi kojom se fizički proces oticaja predstavlja matematički, gde se dozvoljava unos različitih vrednosti ulaznih parametara da bi se dobile vrednosti izlazih veličina na određenoj lokaciji. Taj proces je složen i obuhvata definisanje elemenata sliva i kanalizacionog sistema, zadavanje karakteristika tih elemenata, odnosno vrednosti parametara modela i izbor metoda proračuna. Objekti pomoću kojih se simulira hidrološki ciklus u urbanim sredinama su kišomer (Rain Gage) pomoću kojeg se predstavlja padavine, podsliv (Subcatchment) pomoću kojeg se predstavlja površina zemljišta, akvifer (Aquifer) pomoću kojeg se predstavlja podzemne vode i objekti tipa čvor (Node) i veza (Link) pomoću kojih se prikazuje kanalizaciona mreža i njeni objekti (kanali, cevi, pumpe i zatvarači). U zavisnosti od potreba treba pronaći balans između detaljnosti modela i pojednostavljenja proračuna [7].

6. REZULTATI HIDRAULIČKOG PRORAČUNA

6.1. Uopšteno o mreži

Model proračuna se sastoji od 63 čvora, 63 kolektora i jednog izliva. Atmosferska voda se gravitaciono kreće kroz sistem. Naselje se nalazi na ravnom terenu sa veoma blagim nagibom za koji je usvojena vrednost od 0,1%. Ukupna površina sliva je 135ha. Baranda je naselje koje nije gusto izgrađeno i ima mali procenat nepropusnih površina koji je za većinu slivova usvojen da je 14% a samo u centralnom delu naselja u kom se nalaze poslovni objekti je usvojeno 18%. Pad nagiba terena u Barandi je usmjeren od periferije na kojoj se nalazi izliv preko jezgra naselja ka suprotnoj periferiji. Mesto izliva je odabrano tako da bude na jednoj od viših tačaka terena jer je tada izliv najbliži recipijentu – reci Tamiš. Mreža kolektora je postavljena paralelno sa ulicama a nagib svakog sporednog kolektora je odabran tako da budući smer tečenja vode u njemu prati pad terena, a da se u isto

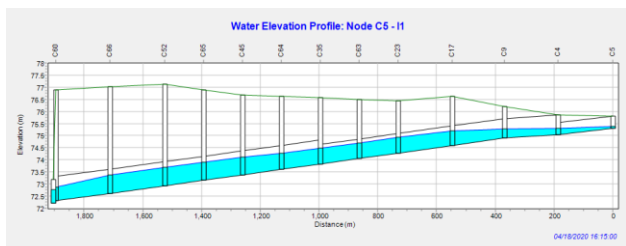
vreme voda što kraćim putem odvede do recipijenta. Samo je pad dna glavnog kolektora suprotan od pada dna terena. Na slici 2 dat je prikaz usvojene mreže, a trasa glavnog kolektora je naznačena crvenom bojom.



Slika 2. Prikaz usvojene mreže kolektora

6.2. Prikaz rezultata prilikom padavina povratnog perioda 1 u 2 godine

Mreža je dimenzionisana tako da ne dođe ni do preopterećenja ni do tečenja pod pritiskom pri padavinama povratnog perioda jednom u 2 godine, što je u skladu sa preporukama za dimenzionisanje atmosferske kanalizacije u ruralnim područjima. Padavine su podešene tako da počinju u 15 časova i da traju 20 minuta. Pri takvim padavinama maksimalan proticaj kroz izliv je 949,3 l/s. U 16 časova i 15 minuta, sistem je i najopterećeniji pa je iz tog razloga na slici 3 prikazan glavni kolektor u tom trenutku i tada je maksimalan stepen njegove ispunjenosti 67%.

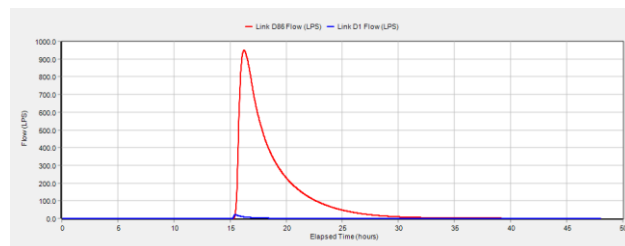


Slika 3. Prikaz glavnog kolektora sa maksimalnom linijom nivoa za padavine povratnog perioda jednom u dve godine

Kada se proticaj kroz ovaj kolektor simulira kroz vreme uočava se da voda iz poslednja dva kolektora koji se nalaze na periferiji, lagano teče sve dok ne dođe do većeg opterećenja kolektora u delu koji je bliži izlivu. Kako se opterećenje kolektora povećava tako se javlja sve veći uspor toka i voda iz poslednja dva kolektora sve slabije otiče. Na prethodno datom uzdužnom profilu uočavamo da se u trenutku najvećeg opterećenja u poslednja tri kolektora linija nivoa pretvorila u ravnu liniju, što nam govori o tome da u tom delu kolektora dolazi do sporijeg tečenja usled nizvodnih uslova [4]. U glavni kolektor najviše vode se uliva kroz čvorove C17 i C35, ali opterećenost glavnog kolektora utiče na nivo vode u kolektoru koji se završava u čvoru C17 a ne utiče na kolektor koji se završava u čvoru C35. Dakle na nivo vode u sporednom kolektoru koji se završava u čvoru C17 utiče nivo vode u glavnom kolektoru jer je on veći od normalne dubine glavnog kolektora, i nivo vode iz sporednog kolektora stalno teži da se izjednači sa nivoom vode u glavnom kolektoru [3]. Sve to ima za posledicu

manje brzine toka i manje protoke u kolektorima i potrebu za većim poprečnim preseccima. U sporednom kolektoru koji se završava u čvoru C35 na nivo vode ne utiče nivo vode glavnog kolektora jer se dno sporednog kolektora nalazi iznad maksimalnog nivoa vode u glavnom kolektoru. Iz tog sporednog kolektora voda konstantno slobodno ističe što za posledicu ima to da nisu potrebni veliki prečnici uzvodnih kolektora. Posmatrajući celu mrežu uočava se da nivo vode u glavnom kolektoru utiče samo na nivo vode u kolektorima koji se nalaze uzvodno od čvora C17.

Na slici 4 dat je prikaz promene proticaja kroz vreme prvog i poslednjeg kolektora u mreži.

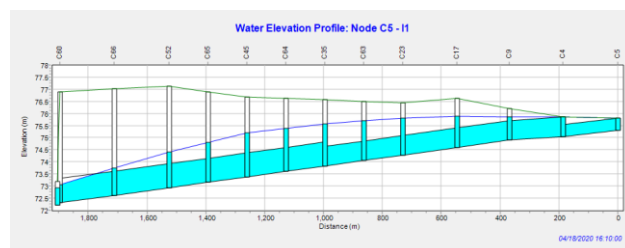


Slika 4. Prikaz promene proticaja kroz vreme u prvom i poslednjem kolektoru u mreži

Zbog različitih pozicija u mreži zanimljivo ih je uporediti. Sa slike je uočljivo da se u prvom kolektoru ranije javlja protok zatim i pik i da u trenutku kada je protok u njemu zanemaljivo mali u poslednjem kolektoru se javlja pik. Ovakav odnos proticaja je u potpunosti očekivan.

6.3. Prikaz rezultata prilikom padavina povratnog perioda 1 u 10 godina

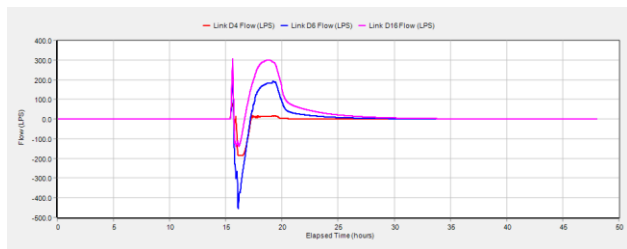
Pri padavinama desetogodišnjeg povratnog perioda u trajanju od 20 minuta maksimalan proticaj kroz izliv javlja se sat vremena nakon početka padavina i iznosi 1597,1 l/s. Prikaz uzdužnih profila glavnog kolektora sa maksimalnom linijom nivoa prikazan je na slici 5.



Slika 5. Prikaz glavnog kolektora sa maksimalnom linijom nivoa za padavine povratnog perioda jednom u deset godina

Maksimalan stepen ispunjenosti glavnog kolektora je 97%. Pri padavinama desetogodišnjeg povratnog perioda glavni kolektor je preopterećen, i dolazi do izlivanja u najvišim čvorovima C4 i C5, kao i do tečenja pod pritiskom. U poređenju sa padavinama dvogodišnjeg povratnog perioda vidimo drugačije ponašanje sistema. U kolektorima D4, D6 i D16 koji se nalaze u najuzvodnijem delu glavnog kolektora dolazi do negativnog protoka, što prilikom padavina dvogodišnjeg povratnog perioda nije bio slučaj. Dakle prilikom padavina desetogodišnjeg povratnog perioda glavni kolektor je toliko opterećen da voda iz nizvodnih delova počinje da teče ka uzvodnom delu kolektora i ta pojava je na hidrogramu prikazana kao negativan protok. Na sledećoj slici 6 dat je prikaz promene

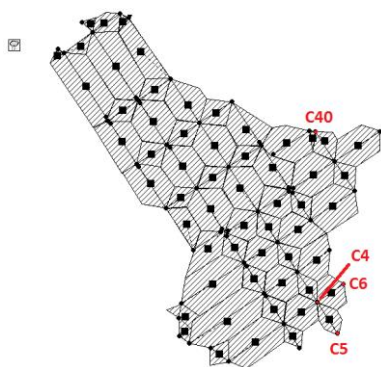
proticaja kroz vreme za kolektore D4, D6 i D16 prilikom padavina povratnog perioda jednom u deset godina.



Slika 6. Prikaz promene proticaja kroz vreme prilikom padavina povratnog perioda jednom u deset godina za kolektore koji se nalaze u najuzvodnijem delu glavnog kolektora

Dalje posmatrajući protok u glavnom kolektoru uviđa se da što se kolektor nalazi bliže izlivu veći je protok u njemu a pad protoka nakon pika je sve manji. Posmatrajući celu mrežu uočava se da nivo vode u glavnom kolektoru utiče na nivo vode u kolektorima koji se nalaze uzvodno od čvora C35.

Do izlivanja dolazi u čvorovima C4, C5, C6 i C40 koji se nalaze na periferijama ruralnog naselja za kišu povratnog perioda jednom u deset godina. Pozicije tih čvorova u mreži prikazane su na slici broj 7.



Slika 7. Prikaz položaja čvorova u kojima dolazi do izlivanja pri padavinama povratnog perioda jednom u deset godina

Nadmorske visine terena ovih tačaka su jedne od nižih u mreži, takođe u odnosu na glavni kolektor se nalaze na mestima na koje on utiče svojom preopterećenošću. Potrebno je naglasiti da se u kolektorima koji se nalaze uzvodno od ovih tačaka javlja negativan protok, dokle do izlivanja u njima dolazi jer su one tačke sa najnepovoljnijim uslovima u mreži.

6.4. Poređenje dobijenih rezultata za padavine različitog povratnog perioda

Pre svega je uočljivo da prilikom padavina povratnog perioda jednom u dve godine godine ne dolazi ni do izlivanja, ni do negativnih protoka ni do tečenja pod pritiskom, što je slučaj prilikom padavina povratnog perioda jednom u deset godina. Opterećenost glavnog kolektora utiče na uzvodne režime tečenja prilikom padavina povratnog perioda jednom u dve godine godine u čvorovima koji se nalaze iznad čvora C17, dok prilikom padavina povratnog perioda jednom u deset godina utiče na režim tečenja u kolektorima koji se nalaze iznad čvora C35. Pri padavinama dvogodišnjeg povratnog perioda maksimalan

stepen ispunjenosti glavnog kolektora je 67%, a pri padavinama desetogodišnjeg povratnog perioda iznosi 97%.

7. ZAKLJUČAK

Usvojena je gravitaciona kanalizacija koja se sastoji od 63 čvora, jednog izliva, 50 otvorenih kanala i 13 cevi. Mreža je kocipirana tako da su otvoreni kanali postavljeni tako da prate nagib terena i da najkraćim putem dovode vodu do glavnog kolektora koji je zacevljen i najdublje ukopan, trasiran je paralelno sa jednom od najdužih ulica u naselju i na njegovom kraju se nalazi izliv. Atmosferska kanalizacija vodu iz naselja odvodi u reku Tamiš.

Mreža je trasirana i dimenzionisana tako da ispunjava sve zahteve i preporuke u vidu zaštite od plavljenja, minimalnih i maksimalnih dozvoljenih brzina, nagiba kolektora, dubine vode u kolektorima tako da na osnovu svega navedenog možemo zaključiti da je mreža pravilno trasirana i dimenzionisana.

8. LITERATURA

- [1] Pisana predavanja iz predmeta Komunalna hidrotehnika za studente IV godine odseka za hidrotehniku. Stipić Matija. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu. Novi Sad 2016;
- [2] Pisana predavanja za predmet Uvod u hidrologiju. Jasna Petrović. Građevinski fakultet u Beogradu. Beograd 2001. godine;
- [3] Mehanika fluida, knjiga prva, Osnove. Georgije Hajdin. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu;
- [4] Pisana predavanja iz predmeta Hidraulika II. Budinski Ljubomir;
- [5] Hidromašinska oprema. Dušan Uzelac. FTN Izdavaštvo Novi Sad, 2015;
- [6] Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji – 8. Konstruktivni elementi puta – 8.3. Sistem za odvodnjavanje. JP Putevi Srbije, Beograd 2011;
- [7] Storm Water Management Model, User's Manual Version 5.1. EPA. US Environmental Protection Agency, Lewis A. Rossman. September 2015;
- [8] Prostorni plan opštine Opovo, JP „Zavod za urbanizam Vojvodine“ Novi Sad, maj 2011;
- [9] <https://www.ecotamis.rs>;
- [10] <https://www.travel.rs/sr/srbija/gradovi/opstina-opovo>;
- [11] <http://www.opovo.org.rs>;
- [12] <https://www.google.com/maps/place/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0>

Kratka biografija:



Gordana Bjelica rođena je u Kuli 1993. godine. Diplomski rad iz oblasti građevinarstva, na temu „Idejno rešenje vodosnabdevanja naselja Kisač“, odbranila je 2018. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Trenutno student master studija istog fakulteta – smer Hidrotehnika.

Matija Stipić je rođen u Somboru 1964. godine. Doktorirao na Fakultetu tehničkih nauka univerziteta u Novom Sadu 2009. godine, a od 2011. god. ima zvanje docenta. Oblasti interesovanja su hidraulika i komunalna hidrotehnika.

ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I PREDLOG UNAPREĐENJA SISTEMA JAVNOG PREVOZA NA PODRUČJU SUBOTICE**ANALYSIS OF THE EXISTING CONDITION AND PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF THE PUBLIC TRANSPORT SYSTEM IN SUBOTICA***Čongor Erdedi, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***OBLAST – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT**

Kratak sadržaj – U ovom radu izvršena je detaljna analiza sistema javnog prevoza putnika u Subotici, i to sa aspekta organizacije i angažovanih resursa. Opisane su mreže linija u oba podsistema, gradski i prigradski podsistem, i ukazano je na određene nedostatke istih. Predložene su i sprovedene mere za poboljšanje i unapređenje sistema javnog prevoza putnika u oba grada sa aspekta održivog transporta.

Ključne reči: Mreža linija, gradski i prigradski podsistem, elektronski sistem naplate

Abstract – Detailed analysis of public transportation system of passengers in Subotica was executed. Description of line networks in the city is given and some disadvantages were pointed. Some measures were suggested and implemented for improvement of public transportation system of passengers in terms of sustainability in Subotica.

Keywords: Line network, urban and suburban subsystems, electronic billing system

1. UVOD

Sistem javnog gradskog i prigradskog transporta putnika u Subotici teži da se kontinuirano usmeri i pozicionira u skladu sa savremenim transportno-ekonomskim zahtevima rada sistema u cilju postizanja proizvodne i ekonomske efikasnosti i održivosti celine sistema.

Za uspešno ostvarenje ciljeva složenih organizaciono – tehnološkog sistema, kao što je sistem javnog transporta putnika, neophodno je u određenim vremenskim presecima izvršiti proveru i unapređenje raznih elemenata.

S obzirom na probleme koji se javljaju kroz gradski transportni sistem, potrebno je sagledati različite strategije razvoja sistema javnog prevoza u zavisnosti od veličine gradova [1,2].

Danas u svetu postoje dve osnovne strategije u pogledu razvoja gradova, i to “održivi razvoj” i “kvalitet života”. Strategija “održivog razvoja” predviđa razvoj gradova koji će biti usklađen sa društvenim, ekonomskim i drugim mogućnostima.

Sa aspekta javnog prevoza, strategija “kvaliteta života” podrazumeva omogućavanje mobilnosti stanovnika uz kontrolu upotrebe vozila.

Cilj rada jeste detaljna analiza sistema javnog prevoza putnika u Subotici koja se odnosi na oba podsistema, gradski i prigradski podsistem, kako bi se ukazalo na prednosti i nedostatke sistema javnog prevoza u gradu, a zatim predložile i sprovele mere za unapređenje i poboljšanje celog sistema sa aspekta održivog razvoja.

1.1. Okruženje u kome funkcioniše sistem JMTP u Subotici

Subotica se nalazi na samom severu Vojvodine, u neposrednoj blizini državne granice sa Republikom Mađarskom, što joj obezbeđuje karakteristiku gradskog naselja sa povoljnim geografskim položajem kao potencijalnim faktorom razvoja.

Na osnovu rezultata popisa sprovedenog u martu 2011. godine, gradsko naselje Subotica ima 107.726 stanovnika i zahvata površinu od 8245,10 hektara od čega je površina zemljišta unutar granice građevinskog rejonu 8203,65 hektara, a površina zemljišta izvan granice građevinskog rejonu 41,45 hektara, prema Generalnom urbanističkom planu grada Subotice.

Broj domaćinstava u 2011. godini iznosio je 40.290 domaćinstava, odnosno prosečna veličina domaćinstva na području Subotice je 2,67 stanovnika po domaćinstvu.

1.2. Osnovni podaci o javnom preduzeću

Javno preduzeće obavlja komunalnu delatnost, gradski i prigradski prevoz. Javno preduzeće je preduzeće koje obavlja delatnost od opšteg interesa, ako je osniva država, odnosno jedinica lokalne samouprave ili autonomna pokrajina. Organizovano je radi obavljanja delatnosti od opšteg interesa, kao i trajnog i nesmetanog obavljanja delatnosti, koja je nezamenljiv uslov života i rada radnih ljudi i građana.

Pretežna delatnost Javnog preduzeća jeste gradski i prigradski kopneni prevoz putnika (šifra 49.31), koju predstavljaju aktivnosti koje se odnose na obavljanje gradskog i prigradskog prevoza putnika autobusima, sa tačno utvrđenim redom vožnje na određenim relacijama i sa ukrcavanjem i iskrcavanjem putnika na određenim autobuskim stajalištima.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milan Simeunović.

2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA SISTEMA

2.1. Zakonski i regulatorni okviri

Prvi korak analize sistema javnog prevoza jeste analiza zakonskih i regulatornih okvira i definisanje odgovornosti i obaveza gradskih organa uprave odgovornih za javni prevoz i prevoznika.

2.2. Organizacija i upravljanje celinom sistema

U postojećoj organizaciji, u funkcionalnom smislu, preduzeće se sastoji iz četiri sektora sa ukupno 313 zaposlenih (oko 3,44 zaposlena po inventarskom broju vozila, odnosno 3,91 zaposlena po operativno spremnom broju vozila). U okviru JP „SUBOTICA - TRANS” postoje tri nivoa upravljanja: strateški, taktički i operativni nivo.

2.3. (MAKRO) analiza mreže linija

Mreža linija koju opslužuje JP „Subotica - trans” se može, posmatrano u širem kontekstu, podeliti na dve celine. Prvu celinu čini mreža gradskih i prigradskih linija, odnosno mreža na kojoj se obavlja komunalna delatnost gradskog i prigradskog prevoza putnika.

Mreži linija prigradskog transporta dodate su i đачke prigradske linije. Drugu celinu čini mreža linija koja nije direktno vezana za komunalnu delatnost, i predstavlja privrednu delatnost javnog preduzeća kojom se obezbeđuje dodatni prihod. Ovu mrežu čine međumese i međunarodne linije i linije na kojima se obavlja unapred ugovoreni prevoz radnika.

Transportnu mrežu sistema u Subotici čini 23 linije ukupne eksploatacione dužine od 741,4 kilometra posmatrano u oba smera, odnosno prosečne dužine od 394,3 kilometra. Posmatrano po strukturi linija, u sistemu ima 11 gradskih linija ukupne dužine od 217,8 kilometra posmatrano u oba smera, a prosečne dužine od 108,9 kilometra. Pored gradskih, mrežu čini i 12 prigradskih linija ukupne dužine od 523,6 kilometra posmatrano u oba smera, a prosečne dužine 285,4 kilometra.

3. ANGAŽOVANI RESURSI

3.1. Transportni kapaciteti

Struktura voznog parka u JP "SUBOTICA - TRANS" na dan 16.03.2020. bila je: 91 inventarsko vozilo, od čega 34 vozila u gradskom, 26 vozila u prigradskom i 31 vozilo u međumese transportu putnika.

Kada se posmatra struktura vozila prema tipu, najveću zastupljenost u okviru voznog parka u JP "SUBOTICA - TRANS" imaju solo autobusi (dužine oko 12 metara), ukupno 53, što predstavlja 58,24% od ukupnog broja vozila.

Zglobnih autobusa (dužine oko 18 metara) u okviru voznog parka ima 15 (16,48%). Broj minibusu u sistemu iznosi 8 (8,79%), a midibusu 6 (6,59%), s tim da su

midibus vozila zastupljena samo u podsistemu međumese transporta putnika, dok su minibus vozila zastupljena u gradskom (7 vozila) i prigradskom podsistemu transporta putnika (1 vozilo).

Struktura voznog parka prema markama i tipovima vozila je izrazito heterogena, odnosno postoji 10 različitih marki i 36 tipova vozila, što je na trenutnu veličinu voznog parka veoma nepovoljno.

Prosečna starost voznog parka u JP "SUBOTICA - TRANS" na dan 16.03.2020. je iznosila 15,24 godine (15 godina i 3 meseca).

3.2. Prosečna potrošnja

U 2017. godini je ostvarena približna ukupna potrošnja pogonske energije po tipu vozila, koja je, u skladu sa tehnologijom funkcionisanja analiziranih tipova vozila, u opadajućem trendu posmatrano od gradskog ka međumese tipu vozila (gradski autobusi 665.556 litara, prigradski autobusi 619.897 litara, međumese autobusi 1.943.428 litara). U 2018. godini je takođe ostvarena približno ista potrošnja pogonske energije po tipu vozila i najzastupljeniji su gradski autobusi u ukupnom učešću (35%). Prosečna potrošnja pogonske energije izražena kroz potrošnju po vozilu litara/100 km u 2018. godini je veća u odnosu na iste pokazatelje za 2017. godinu (2%).

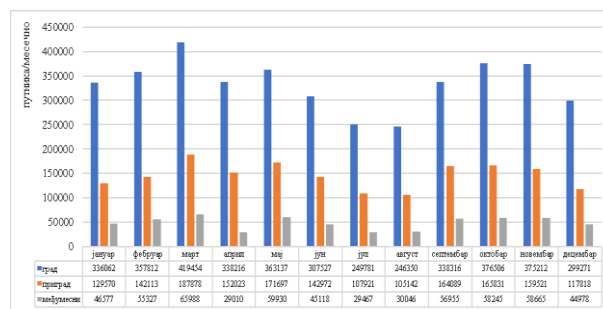
Ukupna prosečna godišnja potrošnja pogonske energije po vozilu u sistemu JP „SUBOTICA - TRANS“ ima približnu vrednost za obe analizirane godine, respektivno 2017. - 23.763,36 litara i 2018. - 23.628,17 litara.

4. REZULTATI RADA

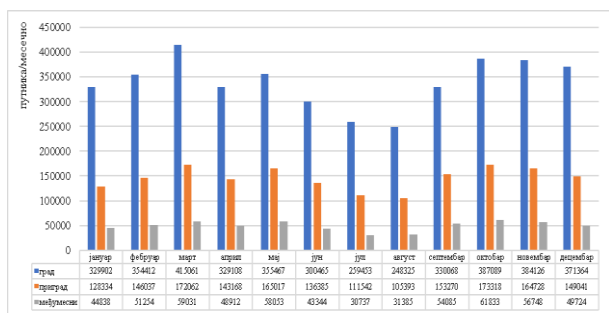
4.1. Broj prevezenih putnika

Detaljnou analizou broja prevezenih putnika, odstupanje iznosi manje od 1%. Ukupan broj prevezenih putnika u 2017. godini je iznosio 6.353.375, dok se u 2018. godini beleži blagi porast broja prevezenih putnika i iznosi 6.402.629 putnika.

U 2017. godini najveće učešće u ukupnom broju prevezenih putnika ima gradski podsistem i iznosi 63,08%, kao i u 2018. godini 63,49%. Gotovo identičnu zastupljenost i u 2017. i u 2018. godini u ukupnom broju prevezenih putnika ima prigradski podsistem i iznosi 27,41% i 27,31%, respektivno, slika 1. i slika 2.



Slika 1. Broj prevezenih putnika po mesecima po podsistemima u 2017. godini



Slika 2. Broj prevezenih putnika po mesecima po podsystemima u 2018. godini

4.2. Bruto transportni rad

U transportno - poslovnim sistemima JP „SUBOTICA - TRANS” u toku 2017. i 2018. se realizuje bruto transportni rad od 5.009.486 vozilo·km i 4.992.361 vozilo·km, respektivno.

Najveće učešće ima prigradski podsistem, koje iznosi 39,82% u 2017. i 40,03% u 2018. godini.

5. (MIKRO)ANALIZA LINIJE BROJ 6

5.1. Osnovne karakteristike linije broj 6

Gradska linija broj 6 u Subotici je dijametralna linija koja povezuje dva periferna dela grada i prolazi kroz centar grada. Terminus A je stajalište koje nosi naziv Svarovski, dok terminus B nosi naziv Vikend Naselja. Oznake termina su određeni u skladu sa smerom koji je definisan u redu vožnje (zvaničan smer je Svarovski – Vikend Naselja).

5.2. Karakteristika putničkog toka na liniji

Karakteristike putničkog toka na liniji su praćeni pomoću softvera “D-Logic”. U sistemu mogu se prepoznati 4 tipa putnika u pogledu korišćenja putnih isprava. To su putnici sa mesečnim kartama (M), sa elektronskim novčanicima (E), sa vremenskim kartama (V) i sa papirnim kartama (P). Uласci i izласci putnika su evidentirani pomoću validatora.

5.3. Dinamički elementi linije

Poznato je da se dinamički elementi linije utvrđuju redom vožnje koji se menja periodično, u skladu sa promenama prevoznih zahteva na liniji.

Dinamički elementi predstavljaju značajne parametre kvaliteta JGPP-a. Razlikuju se osnovni (broj vozila na radu i vreme obrta) i izvedeni dinamički elementi (frekvencija i interval polazaka, prevozni kapacitet).

6. SMERNICE U POGLEDU ODRŽIVOG RAZVOJA SISTEMA TRANSPORTA PUTNIKA U GRADOVIMA

Budući da je od vitalnog značaja za ekonomski razvoj i normalno funkcionisanje društva, neophodno je podržavati mobilnost, ali u održivim i prihvatljivim okvirima.

Zbog toga se javlja i veoma je aktuelan pojam „održiva mobilnost“, koji u suštini podrazumeva jednu buduću viziju društva, prema kojoj će 9 milijardi ljudi moći da živi dobro i u okvirima postojećih resursa planete.

U Akcionom planu za urbanu mobilnost objavljenom 2009. godine, Evropska komisija podržala je brže usvajanje Planova održive urbane mobilnosti (POUM) u Evropi pomoću materijala sa smernicama, promocijom razmene najboljih praksi, utvrđivanjem referentnih tačaka i podrškom edukativnih aktivnosti za profesionalce u urbanoj mobilnosti.

7. PREDLOG UNAPREĐENJA SISTEMA JAVNOG PREVOZA NA PODRUČJU SUBOTICE

7.1. Laki metro za gradsku liniju 6

Nezavisni šinski sistem čine posebnu grupu tehničkih sredstava, objekata, infrastrukture, tehnologije i organizacije saobraćaja koji ostvaruje masovni prevoz putnika, po unapred određenoj trasi.

Karakteristiše ga:

- spreg točak-šina,
- napajanje električnom energijom,
- integralnost procesa transporta,
- visok nivo prevozne sposobnosti,
- veliki kapacitet i
- složena tehničko-tehnološka rešenja.

Laki metro predstavlja šinski prevoz na delimično izdvojenoj trasi od ostalog saobraćaja, u nivou, tunelima, vijaduktima ili izdvojenim čeličnim konstrukcijama.

Savremenom tehnologijom svaka nova faza razvoja ovog sistema smanjuje zavisnost od ostalog saobraćaja tako da ovaj delimično izdvojeni sistem javnog saobraćaja sve više prima karakteristike metro sistema.

7.2. Primena alternativnih goriva u preduzeću JP “Subotica-trans”

Komprimirani prirodni plin je poznat na engleskom jeziku kao Compressed Natural Gas (CNG), na njemačkom Ergas (Komprimiert Erdgas). Compressed natural gas-CNG je prirodni gas u gasovitom stanju kompresovan na pritisak od 220 bari pri temperaturi od 15 °C, što mu smanjuje zapreminu za oko 200 puta i koji se koristi za pogon motornih vozila kao alternativno gorivo.

Ekološka svest uz smanjenje troškova eksploatacije pri većem broju pređenih kilometara u odnosu na vozila s konvencionalnim gorivima neki su od glavnih motiva koji su mnoge autobusne flote navele na odluku o uvođenju CNG vozila u njihove vozne parkove.

8. ZAKLJUČAK

Uvođenje lakog metroa možda nije opravdano sa ekonomskog i eksploatacionog aspekta, ali moglo bi da bude opravdano sa aspekta tradicije preduzeća i atraktivnosti Palića.

Kada je u pitanju primena CNG plina kao pogonskog goriva u javnom gradskom prevozu, posebna pažnja se poklanja ekonomičnosti u cilju održivog razvoja javnog gradskog prevoza i zaštiti okruženja u urbanim sredinama, tj. ekološkom aspektu primene CNG plina kao pogonskog goriva.

9. LITERATURA

[1] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni Fakultet “Unapređenje transportno-ekonomskih elemenata ugovora o pružanju komunalnih usluga u sistemu javnog transporta putnika u Subotici”, Beograd 2019.

[2] R. Banković “Organizacija i tehnologija javnog gradskog putničkog prevoza” Saobraćajni fakultet Beograd 1994.

Kratka biografija:



Čongor Erdedi, rođen je 1984. godine u Bečeju. Tehničku srednju školu „Ivan Sarić“ završio je 2003. godine. Osnovne diplomske studije iz oblasti Saobraćaja i transporta upisao je 2015. godine i završio je 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

УПРАВЉАЊЕ СИСТЕМОМ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА**TRAFFIC SAFETY SYSTEM MANAGEMENT**

Снежана Драговић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – САОБРАЋАЈ

Кратак садржај – Управљање системом безбедности саобраћаја представља савремени концепт рада у безбедности саобраћаја. У раду су разматрани основни елементи овог система.

Кључне речи: Безбедност саобраћаја, систем, управљање.

Abstract – Traffic safety system management is a modern concept of work in traffic safety. The paper discusses about the basic elements of this system.

Keywords: Traffic safety, system, management.

1. УВОД

Примена система безбедности саобраћаја је континуирани истраживачки процес. Оно што добро функционише у неким политичким и културним окружењима, не мора нужно функционисати и у другим. Полазиште у погледу институционалног развоја, перформанси безбедности саобраћаја и слично, варира од државе до државе.

Најбољи начин за успостављање безбедног система одражава локални контекст и могућности, а такође се развија током времена. Ипак, постоје неке корисне смернице и инструменти који се могу применити у многим околностима. Неке драгоцене лекције могу се научити од земаља које су постигле највећи напредак у успостављању безбедног система на путевима.

Управљачке структуре су оптимизоване за организацију преговарачких процеса, одређивање циљева, утицање на мотивацију, постављање стандарда, решавање спорова, као и извршавање функција расподеле и осигуравање усаглашености. Сви учесници доприносе обострано жељеном исходу знањем, ресурсима, новцем и правима која су им додељена према управљачким функцијама.

2. УПРАВЉАЊЕ БЕЗБЕДНИМ СИСТЕМОМ ПРЕМА РЕЗУЛТАТИМА

Ефикасно управљање безбедним системом фокусира се на резултате и постизање безбедних циљева или резултата. Фокус на резултате укључује праћење перформанси безбедности саобраћаја. Добро управљање такође захтева координацију различитих субјеката тако да се интервенције у свим деловима безбедног система спроводе тако да се оптимизује њихова ефикасност у комбинацији са другим интервенцијама.

Напомена:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Јовановић, ред. проф.

Водећа пракса у управљању безбедношћу на путевима за постизање амбициозних резултата укључује:

- Политичка воља и руководство да усвоје парадигму постизања нула смртних случајева и тешких повреда у саобраћају, притом постављајући и остварујући амбициозне привремене циљеве на овом путу;
- Спровођење систематских и координисаних интервенција заснованих на доказима за постизање побољшаних резултата;
- Осигуравање потребних функција управљања и оптималног рада како би се обезбедила „производна линија“ која ће створити потребне интервенције.

Једном када су заинтересоване стране ангазоване и спремне за промене, управљачка структура их мора подржати у преузимању свог дела одговорности. То такође укључује подршку блиској сарадњи између власти и заинтересованих страна. Ефикасна структура управљања безбедним системом укључује процесе са више заинтересованих страна, који укључују заједнички договор о циљевима безбедности саобраћаја и томе како их постићи.

Улога власти се мења из традиционалне улоге управљања у улогу повезивања како би се олакшало управљање мрежама, преговарачки процеси итд, уместо да детаљно управљају појединачним интервенцијама. За неке земље, посебно оне са ниским и средњим дохотком, пренос знања, ресурси и јачање јавне управе су од суштинске важности да би се осигурала чврста основа за пут ка безбедном систему.

Светска банка је идентификовала седам управљачких функција важних за безбедност саобраћаја:

1. Фокус на резултате
2. Координација
3. Законодавство
4. Финансирање и расподела ресурса
5. Промоција (комуникација)
6. Мониторинг и евалуација
7. Истраживање и развој, пренос знања.

Управљање безбедним системом требало би да представља примере принципа добре управе за транспарентност, одговорност, учествовање, одзив и промоцију владавине закона. Све ово је изузетно релевантно и применљиво на превенцију повреда на путу. Уопштено говорећи на основу искустава земаља које већ имају безбедан систем, могу се разликовати две главне стратегије за успостављање и управљање безбедним системом у земљи: приступ „од врха према доле“, каои централно вођен приступ који користи

политике и регулаторне инструменте који тачно одређују шта се треба урадити и ко. Приступ „од врха према доле“ наглашава чињеницу да је безбедност саобраћаја подељена одговорност и да стога не може бити успешна без демократског процеса у којем се покреће, одржава и даље развија јавна потражња за бољом безбедношћу.

Оба приступа истичу важност водеће агенције и развој капацитета институционалног управљања као критични услов за разраду амбициозног и кохерентног програма безбедности саобраћаја, његову промоцију и координацију напора за његову примену. У већини случајева, оба приступа ће бити корисна, па чак и неопходна, јер истичу различите, али комплементарне елементе процеса.

У приступу од врха према доле, централну улогу обавља влада, са централно издатим политикама, стандардима и прописима који детаљно прецизирају шта треба да чини заинтересована страна у систему, и како треба да раде. Прописане казне се често примењују због непоштовања прописа.

Остали инструменти и стратегије од врха према доле или централно вођеног приступа укључују комуникацију (нпр. информације, маркетинг и промоцију) и економску подршку (нпр. субвенције, порези и корисничке накнаде).

Ови инструменти се користе са главном сврхом да се створи и осигура исправно понашање међу различитим учесницима.

3. ДЕФИНИСАЊЕ ЦИЉЕВА

Циљеви су се показали ефикасним у фокусирању пажње на безбедност саобраћаја на највишим нивоима одлучивања и, као последица тога, у обезбеђивању ресурса за интервенције безбедности саобраћаја како би се напредовало у примени безбедног система. Они помажу у постизању транспарентности, одговорности и испоручивости, и само онда када укључују оперативну димензију доносе конкретне резултате.

Циљеви попут „нула смртних случајева на путу“ често се одбацују као нереални.

Да би се супротставили овој перцепцији, они морају бити подржани конкретним привременим циљевима. Краткорочни циљеви могу укључивати одређени проценат смањења смртних случајева на путевима или озбиљних повреда током одређеног времена или постизање нула смртних случајева на путу за одређену групу корисника (нпр. децу).

Постављени циљеви морају се редовно надгледати и поткрепити договореним и у потпуности финансираним пакетом интервенција који се бира на основу доказа о резултатима од којих се може очекивати.

Земље на самом врху перформанси безбедности саобраћаја користе детаљну процену утицаја за мере безбедности на путевима које предвиђају.

Циљеви треба да буду постављени на различитим нивоима, као што је приказано на слици 1.

Типично, државе постављају циљеве за коначне исходе (смрт и озбиљне повреде) или средње исходе мерене индикаторима безбедносних перформанси (нпр. брзина, стопа коришћења сигурносних појасева).



Слика 1. Хијерархија циљева безбедности саобраћаја (Koornstra et al., 2002)

3.1 Процена тренутне ситуације

Добро разумевање тренутних и претходних перформанси безбедности саобраћаја логично је полазиште за дефинисање приоритетних области и акција. Такође, такав приступ поставља референтну тачку за будуће циљеве. У већини земаља перформансе безбедности саобраћаја обично се мере трендовима или стопом броја смртних случајева. Ипак, саобраћајне незгоде такође узрокују озбиљне повреде великих размера, а то је подједнако у фокусу безбедног система. Међутим, два фактора компликују сагледавање озбиљних повреда на путу.

Прво, тешко је прикупити поуздане податке о повредама у саобраћајним незгодама. У многим земљама, број озбиљних повреда на путевима заснован је у потпуности на полицијским извештајима, који могу погрешно пријавити неке случајеве повреда, а друге у потпуности пропустити. Овакав начин рада представља озбиљан проблем, посебно за рањиве учеснике у саобраћају. Допуњавање полицијских података другим изворима, посебно здравственим подацима, може помоћи у фокусирању на ова питања. Подударни алати базе података који додељују јединственим кодовима или идентификаторима појединачне жртве незгода за дељење података и личних података на поверљиви начин постају доступни за повезивање различитих скупова података из полиције, хитних служби и болница како би направили боље процене стварног броја озбиљно повређених. Холандија и Аустралија користе овај приступ да исправе податке објављене за укупан број смртних случајева и тешко повређених.

Друга препрека је то што различите земље користе различите дефиниције појма „озбиљне повреде“, што резултира великим варијацијама у пријављеним бројевима. Европска унија 2012. године усвојила је као уобичајену дефиницију за озбиљне повреде да су то хоспитализовани пацијенти са нивоом повреде изнад 3 на скали максималних повреда. Четрнаест земаља је по овом основу 2016. могло да изнесе податке о тешко повређенима у саобраћајним незгодама.

3.2 Коришћење показатеља безбедносних перформанси

Показатељи безбедносних перформанси (ПБП) могу бити врло ефикасни у одређивању политика и интервенција о безбедности саобраћаја. Они

представљају основно средство за дијагностификавање проблематичних подручја, за разумевање процеса који воде до саобраћајних незгода и за помоћ заинтересованим странама да разумеју како могу допринети побољшању безбедности саобраћаја.

Важно је да се показатељи безбедносних перформанси усредсреде не само на коначне исходе незгоде (тј. погинуле и озбиљно повређене особе) већ и на индикаторе средњег исхода за које се сматра да доприносе, као и на то да мере учинке који се реализују у циљу решавања исхода.

Мерење и процена тачних ефеката специфичних интервенција на број смртних случајева и озбиљних повреда захтева вештину и напор. Релативно оскудни доступни подаци захтевају дуге периоде мерења (посебно у малим земљама или градовима где је број настрадалих релативно низак) да би се прикупило довољно релевантних информација за процену ефикасности интервенција.

Алтернатива је мерење ефекта интервенције на основу средњих резултата кроз индикаторе безбедносних перформанси. Врсте исхода су различите и покривају главне елементе система друмског саобраћаја, као што су путно окружење, учесници на путу и возила и њихова интеракција. Укључују факторе за које је познато да су узрочно повезани са крајњим исходима (нпр. познато је да брзина и вожња под алкохолом повећавају ризик од настанка незгоде, употреба сигурносних појасева има добро документоване ефекте на смањење ризика од повреда, а квалитет конструкције пута смањује вероватноћу настанка саобраћајне незгоде и озбиљност исхода незгоде које се ипак дешавају). Показатељи безбедносних перформанси такође се могу односити на факторе после саобраћајне незгоде (нпр. квалитет интервенције хитних служби).

3.3 Постављање циљева

Постављање циљева за укупан број смртних случајева и озбиљних повреда показало се важним за покретање и реализацију ефикасних националних стратегија безбедности саобраћаја. Међутим, циљеви морају бити специфични, мерљиви, достижни, реални и временски ограничени.

Приступ Управљање циљевима тврди да ће дефинисање свеукупних циљева који ће се постићи бити ефикаснији у постизању резултата него постављање детаљних правила о томе како би се учесници у систему требали понашати, подстицањем флексибилних стратегија усмерених на решавање проблема унутар организације. Уместо да формулише детаљна правила о томе како би се субјекти требало понашати, политички ниво одређује стратешке циљеве и поставља квантификоване циљеве које би управа требало да постигне. У пословима безбедности саобраћаја, Управљање циљевима нуди начин за ангажовање заинтересованих страна и обавезују их да преузму одговорност за постизање одређених циљева. Управљање циљевима стога подржава кључни елемент безбедног система на начин који је теже постићи традиционалним приступом од врха према доле, где влада одређује не само шта заинтересоване стране морају да постигну, већ и како треба да крену према томе.

4. ПРОЦЕНА ПЕРФОРМАНСИ И РЕШАВАЊЕ ИЗАЗОВА

Напредак иницијативе за безбедност саобраћаја треба пажљиво пратити и оцењивати програм. Резултате према циљевима треба редовно објављивати, на пример у годишњем извештају. Процена треба да обухвати и циљеве као такве и интервенције спроведене за њихово постизање. Иако је праћење напретка у погледу укупних смртних случајева и тешких повреда важно, праћење учинка засновано на одређеним показатељима безбедносних перформанси је још важније како би могле да се прилагоде стратегије и акциони планови у раној фази када је то потребно. Анализа затим пружа почетну тачку новог циклуса Планирај – уради – провери – изврши. Укључујући заинтересоване стране у евалуацији пружајући драгоцене увиде из различитих перспектива.

Један од главних изазова за успешну примену безбедног система је тај што га треба схватити и прихватити широм света, од највишег нивоа у политици до особа у првом реду, попут саобраћајних инжењера, полицајаца, урбаниста, финансијера, просветних радника, здравствених радника и многих других из читавог низа агенција чији рад директно утиче на перформансе безбедности у саобраћају. Нарочито, транспортне агенције одговорне за пројектовање, изградњу и одржавање путних система треба да осигурају да њихово особље разуме, прихвати и примени принципе безбедног система. Краткорочно, ово ће захтевати редовну стручну обуку на радном месту, а дугорочно изградњу капацитета професија, укључивање одговарајућих јединица студија у универзитетске курсеве који припремају стручно и техничко особље. Ово може бити посебно изазовно за земље са ниским и средњим дохотком, често суочене са нестабилним техничким тимовима, застарелим програмом стручних курсева, застарелим приручницима и нормама за пројектовање, недостатком координације између секторских агенција укључених у управљање безбедношћу путева и међу различитим нивоима власти. Напори на изградњи капацитета стога морају ићи руку под руку са стратегијама за јачање управљачких структура. Упркос историјским успесима у смањењу смртних случајева на путевима, чак и земље које примењују безбедан систем још увек се суочавају са бројним изазовима безбедности саобраћаја. У тим земљама се појављују нови проблеми на путевима, на пример, као резултат промоције активне мобилности која повећава удео рањивих учесника у саобраћају попут пешака и бициклиста.

5. ФИНАНСИРАЊЕ И РАСПОДЕЛА РЕСУРСА

Многе земље са релативно добрим перформансама безбедности саобраћаја додељују ресурсе на основу анализе исплативости, трошкова и користи. Обично се методологија „Спремност за плаћање“ користи за утврђивање вредности „статистичког живота“ како би се осигурало да се сачувани животи и избегнуте повреде узимају у обзир и правилно одражавају у економском смислу. Ово омогућава изношење јаким, објективних пословних случајева приликом надметања

за ресурсе за побољшање безбедности саобраћаја и давање приоритета интервенцијама и пројектима.

На основу четири принципа безбедног система, земље пионири користе нови увид у природу проблема саобраћајних незгода како би представили снажне аргументе за иницијативе за безбедност саобраћаја у конкуренцији за финансирање и ресурсе. Проактивни нагласак на смањењу врста незгода које резултирају озбиљним повредама или смрћу, за разлику од ранијих реактивних приступа усмерених на спречавање свих незгода, укључујући имовинску штету, мења пословне случајеве безбедности на путевима и отвара нове могућности за изворе финансирања.

Осигуравајућа друштва за личне повреде показују све веће интересовање за добре пословне случајеве за пројекте безбедног система који смањују терет озбиљних повреда на путној мрежи. Људи који су тешко повређени и имају доживотне последице представљају мали проценат у укупном броју захтева за подршку осигурању од личних повреда, али чине несразмерно висок део укупних трошкова уз трајну медицинску и животну подршку.

Нови путеви све више узимају у обзир елементе безбедног система који превазилазе тренутне стандарде у својим пројектним предлозима. Побољшања безбедног система додају низ предности и трошкове, али њихова значајност није увек препозната у расположивим буџетима.

6. ИСТРАЖИВАЊЕ РАЗВОЈ И ПРЕНОС ЗНАЊА

Концепт безбедног система у друмском саобраћају је релативно нов. Потребно је више анализа, евалуација, истраживања и развој како би се побољшало и боље разменило знање и изградиле капацитети међу заинтересованим странама и дизајнерима система за примену безбедног система.

Истраживање, развој и систематски пренос знања важан су допринос изградњи капацитета потребних за примену безбедног система. Овакав приступ пружа нове увиде за развијање бољег разумевања природе незгода, грешака које људи праве и начина на који системи могу „опростити“ како би се смањило својствени ризик у путној инфраструктури и пружила ефикасна заштита од озбиљних повреда у незгодама.

Поред информисања о развоју стратегија, акционих планова, смерница и интервенција, истраживање, развој и пренос знања од виталног су значаја за подршку променама парадигме у размишљању, пракси и приступу потребним за примену безбедног система.

Развој и пренос знања помажу у изградњи потребних људских ресурса стварањем професионалног кадра који доприноси истраживачким приступима и знању. Пилот пројекти и приказивање резултата су међу најефикаснијим мерама за објашњење безбедног система, а неке националне владе стављају на располагање субвенције локалним и регионалним властима за приказ пројеката безбедног система. У великом броју земаља додељују се важни ресурси за документовање студија случаја безбедног система и размену лекција из промовисаних пројеката безбедног система. Они се такође користе за ажурирање водича

за пројекат и развој брошура за обуку која има циљ унапређење безбедног система, трансвер знања међу професионалцима који су укључени у планирање, изградњу и управљање путним мрежама.

7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

У свету постоје различити приступи управљању безбедношћу на путевима. Изградња безбедног система је свеобухватна, дугорочна активност која захтева широку мобилизацију подршке, као безбедан систем заснован на заједничкој одговорности за перформансе безбедности на путевима. Не само учесници у саобраћају, већ и сви који су укључени у планирање, изградњу, одржавање, управљање или коришћење друмског саобраћаја морају да снесу одговорност за перформансе безбедности на путевима и поступају у складу с тим.

Без јаких, перспективних лидера, ништа се неће променити у безбедности саобраћаја. На политичком нивоу, вођење земље или града захтева промену политичке парадигме и подршке јавности. Генерално, промена парадигме безбедности саобраћаја у посматрању и реаговању на њега захтева главни приоритет руководства да изврши менталне промене и усмери заинтересоване стране унапређењу система безбедности саобраћаја.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bliss, T. and J. Breen (2008), “Implementing the recommendations of the world report on road traffic injury prevention.
- [2] Hakkert, A.S., V. Gitelman and M.A. Vis, M.A. (eds.) (2007), “Road Safety Performance Indicators: Theory, Deliverable D3.6 of the EU FP6 project SafetyNet.
- [3] Koornstra, M., Lynam, D., & Nilsson, G. (2002). SUNflower: a comparative study of the development of road. Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research.
- [4] Larsson P, Dekker SWA, Tingvall C. The need for a systems theory approach to road safety. Saf Sci. 2010;48:1167e1174.
- [5] Stigson, H. (2009), A Safe Road Transport System – Factors Influencing Injury Outcome for Car Occupants, Karolinska Institutet, Stockholm.
- [6] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2018.

Кратка биографија:

Снежана Драговић рођена је у Ариљу. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Безбедност саобраћаја одбранила је 2020. год.

REŠAVANJE PROBLEMA DOSTAVE POMOĆU QGIS-a**SOLVING A DELIVERY PROBLEM BY USING QGIS**Dorđe Kapur, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – POŠTANSKI SAOBRAĆAJ**

Kratak sadržaj – U radu su opisani problemi s kojima se suočavaju veliki gradovi, sa posebnim osvrtom na probleme dostave. Nakon toga su prikazana neka od mogućih rešenja datih problema sa posebnim akcentom na primenu QGIS-a u određivanju lokacije paketskih ormara na području grada Novog Sada.

Ključne reči: Veliki gradovi, poštanska služba, dostava, QGIS, paketski ormari.

Abstract – This paper describes the problems faced by big cities, with a special focus on delivery problems. Subsequently, possible solutions to the problems were presented, with a special emphasis on the application of QGIS in determining the location of parcel lockers in the city of Novi Sad.

Keywords: Big cities, postal service, delivery, QGIS, parcel lockers.

1. UVOD

Predmet istraživanja ovog rada jeste uticaj robnog transporta, odnosno prenosa poštanskih pošiljaka i dostave pošiljaka na održivost i sam život u gradovima.

Akcentat je stavljen na projektovanje urbanih konsolidacionih centara (PLC-ova) u većim gradovima, kao i kolaboraciji između poštanskih operatera, kako bi se dostava pojednostavila čime bi se gradovi učinili boljim i zdravijim za život.

Važno je napomenuti probleme s kojima se susreću veliki gradovi poput kvaliteta života, očuvanja životne sredine, gustina saobraćaja, gužve i kao relevantno za ovaj rad, proces dostave odnosno robnog transporta.

Predlog rešenja koja bi podigla kako kvalitet života u gradu tako i kvalitet dostave jesu svakako izgradnja paketskih ormara, uz kolaboraciju poštanskih operatera među sobom i izgradnja urbanog konsolidacionog centra.

Tehnologija koja se može koristiti jeste Geografski informacioni sistem, koji služi za prikupljanje, memorisanje, pretraživanje i prikazivanje prostornih podataka iz stvarnog sveta.

QGIS je vrlo važan alat odnosno softver GIS-a, gde se pomoću različitih plugin-ova mogu rešavati određeni transportni problemi i nuditi primenljiva rešenja poput analize lokacije paketskih ormara u Novom Sadu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Dragana Šarac, vanr. prof.

2. ODRŽIVOST GRADOVA

Gradovi su dinamičke, ekonomske i društvene strukture koje igraju značajnu ulogu u nacionalnom i međunarodnom prometu roba i usluga. Osnovna su središta ljudskog stvaralaštva, proizvodnje dobara i ideja, obrazovanja, kulture i mesta koja osiguravaju stanovništvu životne i radne uslove [2].

2.1. Opšte karakteristike

Zbog velike koncentracije društvenih i drugih aktivnosti, gradovi su područja u kojima se koncentrišu brojni problemi. Oni se pronalaze u prenatrpanosti gradova, intenzivnom drmskom transportu, zagađenosti vazduha, nedovoljno razvijenoj infrastrukturi za snabdevanje pitkom vodom i zadovoljavajućim sanitarnim uslovima, gomilanju smeća, te socijalnim problemima koji se vezuju za prostor sa lošim uslovima stanovanja tj. siromaštvo, getoizacija, nesigurnost i kriminalni oblici ponašanja.

Konkurentnost i urbani razvoj usko zavise od kvaliteta upravljanja gradom, što svakako uključuje prostorno planiranje i uređenje grada. Prostorno planiranje je optimalan raspored ljudi, dobara i delatnosti na nekoj teritoriji radi njegovog optimalnog iskorišćenja i očuvanja. Osnovni cilj dobrog prostornog planiranja jeste osiguranje održivog razvoja koji mora povezivati kako finansijski deo (isplativost) i socijalni deo vezan za materijalne, duhovne i kulturne potrebe ljudi.

Karakteristični cilj prostornih planova jeste da na određenoj teritoriji reše probleme rasporeda i razvoja gradova i naselja, probleme prometa i ostale infrastrukture, probleme smeštaja, razvoja turizma, da zaštite vrednosti prirodne i kulturne baštine, te da se predložena rešenja temelje na načelima održivog razvoja [2].

2.2. Održiva mobilnost

Gradski saobraćaj jedan je od problema s kojim se suočavaju svi gradovi sveta. Potrebe ljudi i domaćinstava se povećavaju brže od ljudskih mogućnosti, te su uzrok toga da se gotovo ceo svet suočava sa nastojanjem da ti problemi ne budu kočnice, već početak daljeg razvoja. Saobraćaj kao delatnost prevoza ili prenosa ljudi i dobara doprinosi publikovanju i valorizaciji prostora te ukupnom društvenom i ekonomskom razvoju.

Održiva mobilnost se definiše kao mobilnost koja zadovoljava potrebe društva da se slobodno kreće, pristupa, komunicira i uspostavlja odnose bez žrtvovanja drugih važnih ljudskih ili ekoloških resursa [2].

Održiv saobraćaj mora uravnotežiti ekonomske, socijalne i ekološke ciljeve. Cilj je maksimizirati efikasnost vozila gradskih saobraćajnih preduzeća na način da se

destimuliše upotreba privatnih automobila i promoviše ekološki prihvatljiviji i zdraviji način kretanja.

Ključ strategije „zdravog“ saobraćaja jeste u smanjivanju prometa motornih vozila. Broj vozila u drumskom saobraćaju, može se progresivno smanjivati na način da se:

- prošire pešačke staze i očuva sigurnost pešaka,
- naprave posebne biciklističke staze i preduzmu mere kako bi se biciklistima dao prioritet,
- naprave ulice samo za autobuse i tramvaje,
- koriste više hibridnih i električnih vozila,
- poskupi cena goriva, putarine, parkinga itd [2].

2.3. Problemi velikog obima saobraćaja u gradovima

U poštanskom saobraćaju, pored ostalih problema koje uzrokuje saobraćaj kao delatnost, nedostatak parking mesta je definitivno jedan od najvećih problema s kojim se suočavaju poštanski operatori u gradovima. U velikim urbanim sredinama nema dovoljno parking mesta za sva vozila koja se prevoze na gradskom području. Ipak, Siemens je razvio sistem koji će pomoći budućim vozačima da pronađu parking mesta brzo i bez stresa.

Ceo proces potrage za slobodnim parking mestom ima mnoge negativne posledice poput emisije štetnih izduvnih gasova koje se izbacuju u atmosferu, buka a veoma često i negativni prihološki efekti poput stresa i nervoze. Rešenje koje Siemens nudi i na čemu je radio prethodnih godina jeste „Advanced Parking Management“. Prema ovom konceptu, senzori ugrađeni na ulično osvetljenje ili na zgradama, trebali bi posmatrati parking prostore konstantno duž celog grada i slati informacije putem interneta o stanju na terenu ka softveru.

Ovim se postiže da, vozeći bilo kojom ulicom, može da se dobije informacija o slobodnim parking mestima u blizini putem pametnog telefona, navigacije, tableta, zavisno gde je softver instaliran. Primenom ove tehnologije, koja je prikazana na slici 1, znatno bi se olakšao posao poštanskim kuririma, jer bi mnogo brže pronašli mesto za parkiranje, ne bi dolazili u nevolje sa parking servisom i uštedeli bi mnogo vremena i olakšali sebi obavljanje ostalih aktivnosti [3].



Slika 1. Sistem upravljanja parking prostorom

Bez sumnje, najveći problem s kojim se operatori suočavaju jesu gužve u saobraćaju. Jedno od rešenja ovog ozbiljnog problema nudi Siemens i zove se sistem upravljanja saobraćajem odnosno „Traffic Management System“.

Osnova ovog sistema jeste Siemens-ov „SmartGuard traffic computer“ odnosno uređaj koji predstavlja sistem za kontrolu saobraćaja koji funkcioniše baziran na cloud tehnologiji. Ova usluga omogućava gradovima da izgrade

virtuelni kontrolni sistem bez mnogo ulaganja u skupu internet infrastrukturu. Dakle, umesto skupih ulaganja, ovaj sistem se povezuje na centralni saobraćajni kompjuter kojim upravlja Siemens. Ovaj softver pruža sve osnovne funkcije potrebne za praćenje i kontrolu saobraćaja u gradovima i pruža operacije zaštite. Operateri imaju nadzor nad saobraćajem u svojoj opštini/gradu u svakom trenutku. Oni mogu da prate trenutni protok saobraćaja ili da dobiju informacije o zauzetosti parking garaža. Ako je potrebno, oni mogu upravljati saobraćajem postavljanjem svetlosnih signala ili dinamičkih uličnih znakova. SmartGuard nadgleda sve povezane sisteme i šalje upozorenja o neispravnosti lokalnom servisnom tehničaru [3].

Rešenje koje može biti veoma korisno za same kurire u poštanskom saobraćaju jeste „digitalni asistent u saobraćaju“. Opcije koje nudi ova aplikacija diskutovane se pomoću primera približavanja semaforu motornim vozilom. Na ekranu se pojavljuje digitalni brzinomer koji upozorava na npr. „zeleno svetlo na 50km/h“ ili „crveno svetlo će se prebaciti na zeleno“. Ova jedinica je kao virtuelni putnik koji govori samo kada situacija to zahteva i u tom slučaju daje korisne i precizne rute.

Tajna iza ovog uređaja jeste sistem koji se sastoji od stotina kamera i senzora, od kojih su neki ugrađeni na drum kao indukcijske petlje, gde prikupljaju ogromnu količinu podataka. Senzori mogu da odrede koliko je vozila na putu, koliko brzo putuju, gde su se pojavili zastoji ili gde su obilaznice, u kakvom stanju je kolovoz, da li postoje neke prepreke i naravno kada se menja boja na semaforima. Izgled ovog vrlo korisnog uređaja je prikazan na slici 2 [3].



Slika 2. Digitalni asistent u saobraćaju
„Digital traffic assistant“

Ukoliko bi konkretno Novi Sad primenio tehnologiju upravljanjem saobraćaja kao i digitalnog asistenta, kurirske službe (a i sami kuriri) bi imali uvid u stanje saobraćaja i na osnovu toga bi mogli na efikasniji način menjati rute, mogli bi znati koji deo grada izbeći, kreirati najbrže putanje što bi im znatno olakšao posao i naravno podiglo kvalitet poštanske usluge što je i ultimativni cilj.

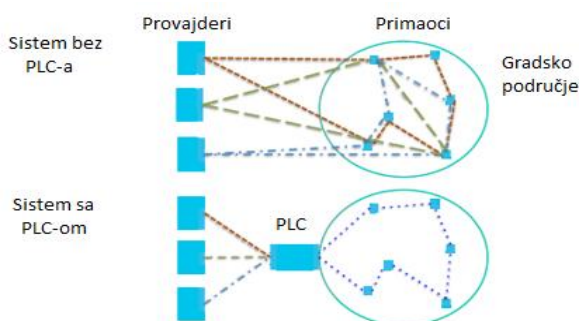
3. MOGUĆA REŠENJA DOSTAVE U URBANIM PODRUČJIMA

3.1. Konsolidacioni centri

Urbani konsolidacioni centar (ili konkretno poštansko logistički centar) se može definisati kao logistički objekat koji služi ceo grad, ili neki deo grada, i služi kao posrednik između odlaznog i dolaznog terentnog saobraćaja odnosno između otpreme i prispeća poštanskih pošiljaka. Takođe, PLC predstavlja jednu od najviše izučavanih gradskih logističkih inicijativa. Ona ima

potencijal da smanji negativne efekte koje izaziva distribucija tereta kako u društvenom tako i u ekološkom smislu, a uz to predstavlja i alternativu današnjim distribucionim centrima [1].

U datom objektu, pošiljke od različitih operatera se konsoliduju i zatim distribuiraju primaocima. Postoje dva različita logistička pristupa koja će nam pomoći da shvatimo razliku sistema dostave sa i bez urbanog konsolidacionog centra (tj. PLC-a). Sistem sa PLC-om uključuje logistički objekat, transport do PLC-a i transport do primalaca. Primaoci robe su označeni kao mali kvadratići unutar gradske zone a provajderi su definisani pravougaonicima. Tipovi linija u prvom scenariju predstavljaju svaku rutu provajdera. U drugom scenariju (sa PLC-om) tačkasta linija predstavlja rutu PLC operatera kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Prikaz sistema sa i bez PLC-a

Prednosti ovog sistema su razlitate jer konsolidovanjem pošiljaka na obodu grada, sa jedne strane se opterećuju teretna vozila koja ulaze u grad a sa druge strane smanjuje ukupan broj potrebnih vozila. S obzirom na manji broj vozila, smanjuje se zagađenje vazduha, buka, zastoji u saobraćaju, saobraćajne nezgode itd. PLC omogućava prelazak sa većih na manja transportna vozila koja manje zagađuju životnu sredinu i smanjuju gužve u gradu, a uz to i troškovi amortizacije i snabdevanja gorivom se umanjuju [1].

Korisnici poštanskih usluga mogu imati benefite s obzirom na dodatne usluge, retail usluge a pre svega logističke usluge koje se mogu pružiti, uz krucijalnu prednost smanjenja potrebnog vremena za dostavu pošiljaka. Provajder kao prednost može izdvojiti takođe vreme za obavljanje poštanskih aktivnosti, smanjeni troškovi, smanjeni broj pređenih kilometara, zaposlenih itd.

Građani i lokalne vlasti imaju koristi u vidu privlačnijeg grada za život (manje zagađenje, gužva, buka i naravno brža dostava i veća dostupnost i kvalitet dostave).

Najveći problem primene ovog rešenja jeste finansiranje PLC-a odnosno raspodela dobiti, jer zahteva saradnju konkurencije među sobom, što je svakako veliki izazov. Ukoliko bi gradske vlasti načinile održiv i efikasan poslovni model i ukoliko bi se konkurencija uspeła usaglasiti oko fer raspodele finansijske dobiti, ova ideja može znatno unaprediti dostavu u gradskim područjima [1].

3.2. Kolaboracija poštanskih operatera

Većina velikih gradova predstavlja gust i složen sistem saobraćaja, koji znatno otežava i usporava isporuku pošiljaka na krajnjim odredištima. Različiti operateri nude razne transportne usluge širom gradskog područja, što rezultuje vožnjama brojnih kurira do istih područja grada (istih zgrada ulica itd.) [4].

Konkretno javljaju se korisnici kojima se pošiljke dostavljaju od strane kurira različitih poštanskih operatera i takve korisnike možemo nazvati deljeni korisnici. Upravo u ovim situacijama, a zbog *kolaboracije* između kompanija, javlja se značajna ušteda jer npr. operateri ne moraju da modifikuju nove rute da bi se prilagodili potražnji i uslovima u kojima posluje njihova konkurencija.

Ukoliko deljeni korisnik nije korisnik jedne od kompanija, on to može da postane kroz saradnju operatera koji preporučuju korisnike jedni drugima. Naravno, prethodno navedene radnje se moraju obavljati u skladu sa „Pravilnikom o načinu i uslovima pristupa poštanskoj mreži javnog poštanskog operatera“, koji u članu 8 i 9 reguliše upravo korisnike i način pristupa JPO [4].

Gradske oblasti imaju veliku gustinu kupaca i njihovih zahteva i oni su često smešteni na veoma malim područjima grada (do 5% veličine celog grada). S obzirom da se mnogo korisnika nalazi na kratkim rastojanjima (poput korisnika u okviru neke zgrade, bloka, ulice itd.) možemo kreirati makrokupca, koji opslužuje skup korisnika na veoma kratkim udaljenostima. Samom dostavom pošiljke makrokupcu, koji će dalje kao *posrednik* dostaviti pošiljke ostalim obližnjim korisnicima, dolazi do uštede u vremenu dostave tj. smanjeno zadržavanje kurira gde on u jednom zaustavljanju može opslužiti veći broj korisnika.

Ideja koja bi se mogla primeniti jeste da kurir isporučuje (ili preuzima pošiljke) u (iz) određenog poštanskog ormara, gde će makrokupac imati pristup i dostaviti pošiljke korisnicima čije se pošiljke tu nalaze. Osim pristupa makrokupca određenom poštanskom ormaru, korisnici bi mogli ili preuzeti pošiljku (npr. naručenu preko interneta) kad god žele, gde bi poštarinu mogli platiti platnom karticom, ili da adresovanu pošiljku ubace u paketski ormar gde bi kasnije kurir mogao preuzeti i dostaviti na naznačenu adresu. Jedan od primera paketskog ormara koji se nalazi u Poljskoj, prikazan je na slici 4 [5].



Slika 4. Primer paketskog ormara u Poljskoj

4. GEOGRAFSKI INFORMACIONI SISTEM (GIS)

Za geografske informacione sisteme postoje različite definicije, od kojih je najrelevantnija: GIS je organizovani skup računarskog hardvera, softvera, podataka, osoblja i mreža, radi efikasnijeg prikupljanja, skladištenja, ažuriranja, rukovanja, analize, modelovanja, prenosa i prikazivanja svih oblika prostornih podataka. 1967. godine Rodžer Tomlinson je razvio prvi operacioni GIS u Otavi koji je nazvan „Kanadskim GIS-om“ [6].

GIS ima veoma široku upotrebu u raznim oblastima poput poljoprivrede, arheologije, životne sredine, zdravstva, šumarstva, marketinga, osiguranja, saobraćaja, projektovanja, turizma itd. Što se tiče saobraćaja, GIS se može koristiti za

upravljanje saobraćajnom signalizacijom, za podatke o saobraćajnom opterećenju, za podatke o putnoj mreži, o bezbednosti saobraćaja itd.

GIS predstavlja složen sistem, koji se sastoji od nekoliko podsistema koji su prikazani na slici 5.

PODSISTEMI GIS			
ULAZ	UPRAVLJANJE	UKLOVANJE I ANALIZA	IZLAZ
Digitalna mapa	Resurs Baza podataka prostornih i neprostornih	Sistem za obradu prostornih podataka	Mapa, grafik, informacija
Digitalizovane i klasifikovane slike		Sistem za upravljanje bazom podataka	
Postojeći prostorni podaci			
Tabelarni podaci			

Slika 5. *Podsistemi GIS-a*

Komponente GIS-a čine hardver, softver, podaci, procesi i korisnici [6].

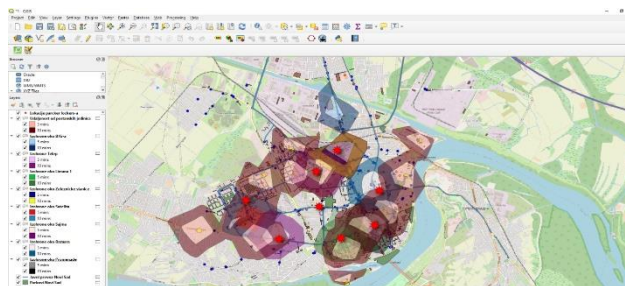
QGIS (Quantum GIS) je besplatna aplikacija za geografski informacijski sistem (GIS), za desktop platformu sa otvorenim kodom koja omogućava pregled, uređivanje i analizu geoprostornih podataka. QGIS funkcioniše kao softver za geografski informacijski sistem, omogućavajući korisnicima da analiziraju i uređuju prostorne informacije, pored sastavljanja i eksporta grafičkih mapa. QGIS je krenuo sa razvojem 2002. godine i podržava rasterske i vektorske slojeve, gde se vektorski podaci čuvaju kao tačke linije ili poligoni, dok su podržani različiti formati rasterskih slika uz mogućnost georeferenciranja. Ovaj program podržava i razne formate kao što su PostGIS, MapInfo, GRASS GIS itd. uz mogućnost dodavanja raznih plugin-ova [6].

5. ANALIZA LOKACIJE PAKETSKIH ORMARA U NOVOM SADU POMOĆU QGIS-A

Pomoću dva veoma korisna plugin-a QGIS-a, biće prikazan postupak analize predloga lokacija za paketske ormare na teritoriji grada Novog Sada. Korišćen je ORS Tools plugin, koji omogućava izbor najkraće rute, najbrže rute, najoptimalnije rute, tabelarna analiza ruta, izbor različitih načina putovanja kojim se kreću kuriri itd.

Pored njega, QUICK OSM plugin je imao ključnu ulogu u pronalasku lokacija za paketske ormare, jer je moguće vizuelno selektovati i prikazati ključne tačke koje su potrebne za odabir lokacije. Paketski ormari bi trebalo da se nalaze u blizini poštanskih jedinica, banaka, tržnih centara, pijaca, hotela itd. jer je na tim lokacijama primetan veliki promet ljudi, roba i usluga.

Za samo postavljanje paketskih ormara, potrebno je, pored prethodnih tačaka, odabrati i parkinge, autobuske stanice, parkove itd. a važno je dodati i poziciju važnih raskrsnica, trotoara, biciklističkih staza i linija gradskog prevoza. U datom programu su izabrane izohrone (prstenovi udaljenosti od svih selektovanih vrednosti koje su prethodno navedene), gde je posmatrana dostupnost sadržaja korisnicima peške, u roku od 5, 10 i 15 minuta hoda. Na slici 6 prikazan je predlog lokacija paketskih ormara, koje su rezultat mesta preklapanja svih prstenova izohrona uz naravno veću gustinu naseljenost na datim delovima grada.



Slika 6. *Predlog lokacija paketskih ormara u Novom Sadu*

6. ZAKLJUČAK

Zbog velike ekspanzije širenja gradova, sve veće gustine saobraćaja i znatno povećanog prometa poštanskih pošiljaka, potrebno je implementirati data rešenja u svrhu pojednostavljenja dostave i unapređenja kvaliteta poštanske usluge.

Nužno je konstantno razvijati sektor poštanskog saobraćaja, primenjivati nove tehnologije (poput poštanskih automata, paketskih ormara, dronova itd.) i prilagoditi poslovne modele najnovijim trendovima poslovanja, kako bi poštanski provajderi efikasno poslovali i uspešno odgovarali potrebama korisnika poštanskih usluga.

7. LITERATURA

- [1] Johansson H. (2018.) „Urban Consolidation Centers“ Linköping University
- [2] Barton H. Tsorou C. (2000.) „Healty Urban Planning“ SPON Press
- [3] <https://www.siemens.com/innovation/en/home/-pictures-of-the-future/mobility-and-motors/urban-mobility-worlds-largest-cloud-based-traffic-control-center.html>
- [4] Berger, S., Bierwirth, C. (2010.) „Sollutions to the request reassignment problem i collaborative carrier networks“
- [5] Šarac D., Jovanović B., Kopic M., Dumnić S. (2015.) „Delivery planning in cities for CEP items“ Beograd.
- [6] Beleške sa predavanja „GIS u saobraćaju“, 2018.

Kratka biografija:



Đorđe Kapur rođen je u Novom Sadu 1994. god. 2013. godine upisuje Fakultet Tehničkih nauka, smer Poštanski saobraćaj i telekomunikacije. U septembru 2018. godine stiče zvanje diplomiranog inženjera saobraćaja. Master rad na temu Analiza problema dostave na području Novog Sada pomoću QGIS-a odbranio je 2020. godine.

RAZVOJ ELEKTROPNEUMATSKOG GENERATORA KOMPRESIONIH MEHANIČKIH TALASA

DEVELOPMENT OF ELECTROPNEUMATIC GENERATOR OF COMPRESSIONAL MECHANICAL WAVES

Nikola Ristić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U radu je razmotren razvijeni elektropneumatski sistem namenjen za generisanje kompresionih mehaničkih talasa. Generisanje talasnog polja zasnovano je na principu mehanike sudara čvrstih tela.

Ključne reči: Elektropneumatika, kompresioni mehanički talasi

Abstract – This paper presents a developed electro-pneumatic system designed for generating compressional mechanical waves. Wave field generation is based on the mechanical principle of collision of two solid bodies.

Keywords: Electropneumatics, compressional mechanical waves

1. UVOD

Elektropneumatska automatizacija procesa predstavlja jedan od najprimenjenijih načina za ostvarivanje željenog rada automatskih sistema. U opštem slučaju, izvršni organ koristi vazduh pod pritiskom kao energetski izvor za postizanje potrebnog funkcionisanja, dok se njegovo upravljanje vrši upotrebom razvodnog ventila koji menja svoja stanja posredstvom elektromehaničkog mehanizma.

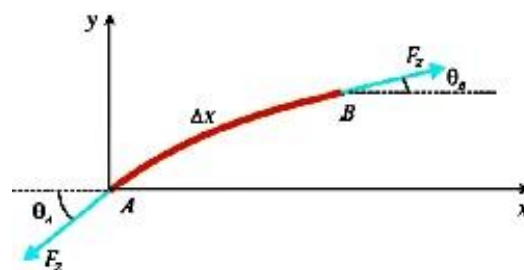
Tema ovog rada je razvoj elektropneumatskog izvršnog organa koji generiše kompresione mehaničke talase, kao i korisnički interfejs koji je namenjen za njegovo upravljanje. Postoji mogućnost da se ovakav sistem primeni u domenu medicine koja se bavi fizikalnom terapijom telesnih povreda [1], ali su za to potrebna dodatna ispitivanja koja prevazilaze okvire ovog istraživanja.

2. MEHANIČKI TALASI

Oscilovanje čestice oko svog ravnotežnog položaja u neprekidnoj elastičnoj sredini, pri čemu se energija oscilovanja prenosi sa jedne na drugu česticu, naziva se mehanički talas. Oni se dele na kompresione (longitudinalne) i savijajuće (transverzne) [2].

Jednačina koja opisuje vezu brzine mehaničkog talasa sa vremenskom i prostornom promenom njegove elongacije, naziva se talasna jednačina.

Na slici 1, prikazan je jedan delić dužine žice Δx koji je zategnut silom zatezanja F_z , pri čemu krajevi tog delića zaklapaju uglove θ_A i θ_B sa x osom.



Slika 1 – Delić žice pobuđen na oscilacije

Pod pretpostavkom da se oscilacije dešavaju samo u y pravcu, talasna jednačina žice pobuđene na oscilacije glasi:

$$u^2 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

gde je t vreme, a u predstavlja brzinu prostiranja talasa.

Progresija longitudinalnih talasa manifestuje se kao promena pritiska sredine kroz koju se prostiru [3]. Prema tome, postoji još jedna forma talasne jednačine koja opisuje njihove karakteristike:

$$u^2 \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2} \quad (2)$$

pri čemu je $p(x, t)$ pritisak.

Osobina longitudinalnih talasa da se manifestuju kao prostorna promena pritiska je od velikog značaja za analizu njihovih karakteristika. Takođe, pojednostavljuje proces merenja njihovih svojstva. Kada se kompresiono talasno polje meri u jednoj fiksnoj tački prostora (što je u praksi skoro uvek slučaj pošto je takva tačka definisana položajem senzora kojim se registruje stanje u polju), talasni pritisak se svodi samo na vremensku funkciju $p(t)$. Memni instrument koji je namenjen za merenje takve promene pritiska je mikrofoni.

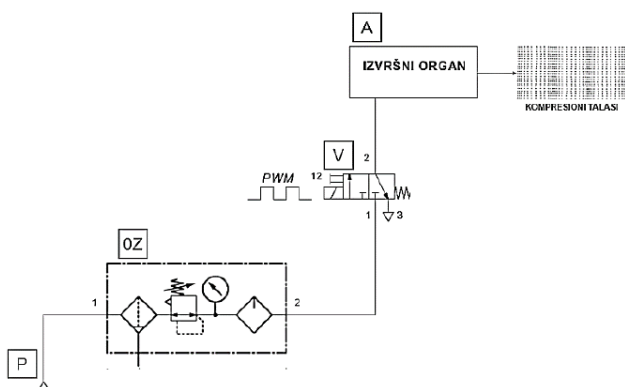
3. PRINCIP RADA ELEKTROPNEUMATSKOG GENERATORA KOMPRESIONIH TALASA

Elektropneumatski procesi bez povratne sprege najčešće se sastoje od jednog ili više izvršnih organa koji koriste isključivo vazduh pod pritiskom kao izvor energije, dok se za razvodne ventile koji upravljaju njima koristi i

NAPOMENA:

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

električna energija. U sistemu koji se izučava u ovom radu, električni signal kojim se upravlja elektromagnetnim ventilom je u obliku impulsno širinske modulacije. Na taj način se na njegovom izlazu formira pneumatski PWM signal kojim se upravlja aktuatom. Elektropneumatska šema sistema predstavljena je na slici 2.



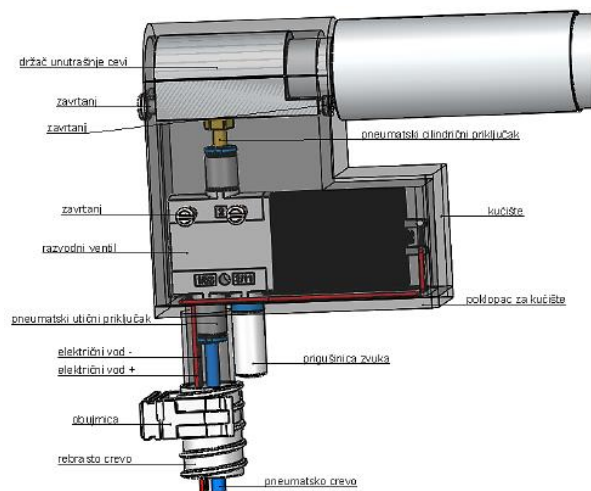
Slika 2 – Elektropneumatska šema sistema

Namena aktuatora je pretvaranje ulazne pneumatske energije u polje kompresionih mehaničkih talasa na svom izlazu. Isti se može videti na slici 3.

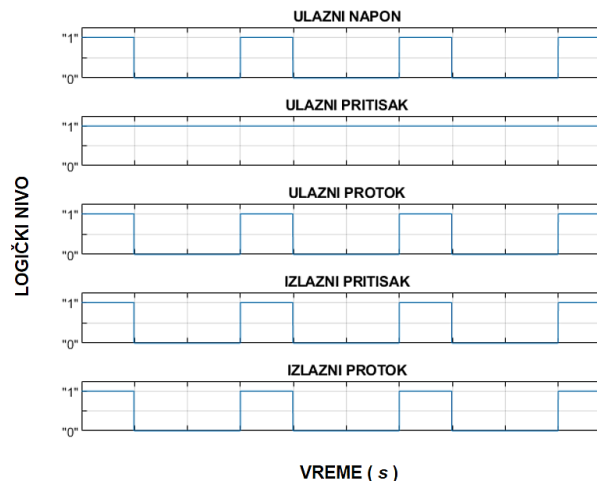


Slika 3 – Izvršni organ

Primenjeni elektromagnetni ventil u sistemu je 3/2 normalno zatvoreni monostabilni električno aktivirani razvodnik kompanije FESTO sa oznakom MHE2-MS1H-3/2G-M7. Integrisan je u aktuator kao što se može uočiti na slici 4, a na slici 5 prikazani su njegovi ulazni i izlazni signali za vreme radnog režima izvršnog organa.



Slika 4 – Prikaz integracije razvodnog ventila u izvršni organ



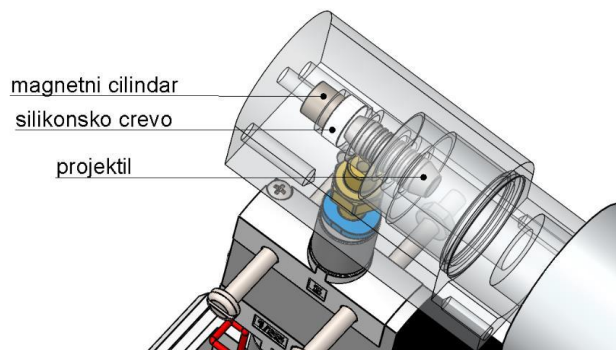
Slika 5 - Signali razvodnog ventila za vreme radnog režima izvršnog organa

Generisanje talasnog polja posredstvom primenjenog aktuatora zasnovano je na principu mehanike sudara čvrstih tela. U sudaru učestvuju projektil (metak) i membrana (sonda, talasovod) koji se mogu videti na slici 6.



Slika 6 – Projektil i membrana

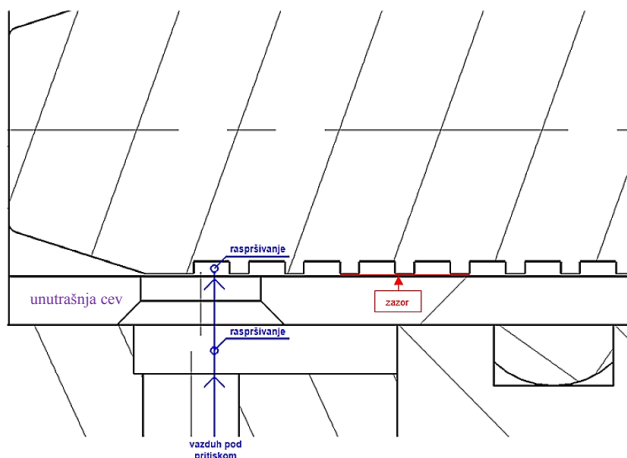
U početnom položaju, projektil se nalazi u stanju mirovanja kao što je prikazano na slici 7. Sa slike je uklonjena unutrašnja cev u kojoj se nalazi zbog preglednosti. Može se primetiti da metak dodiruje silikonsko crevo svojom čeonom površinom. U takvoj poziciji nalazi se usled dejstva privlačne sile magnetnog cilindra.



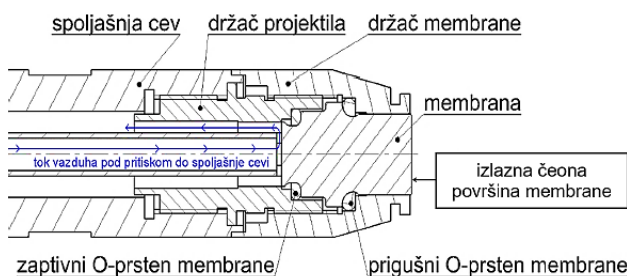
Slika 7 – početni položaj projektila

Polarizacijom električnih vodova razvodnog ventila, vazduh pod pritiskom na izlazu pneumatskog cilindričnog priključka prolazi kroz otvor držača unutrašnje cevi. Tada, sila pneumatskog pritiska savladava silu magnetnog cilindra i ubrzava (pogoni) projektil. Međutim, vazduh pod

pritiskom se takođe prostire kroz unutrašnju cev prolazeći kroz zazor između cevi i projektila koji se može uočiti na slici 8. Isti se akumulira u komori spoljašnje cevi kao što se može videti na slici 9.

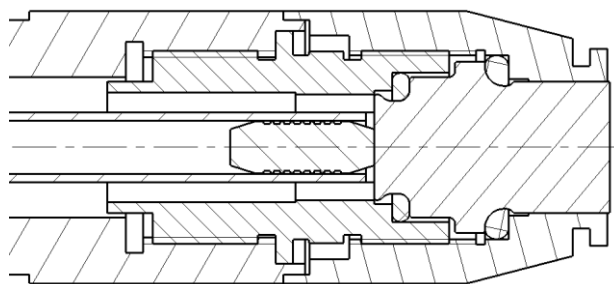


Slika 8 - Protok vazduha pod pritiskom do projektila



Slika 9 - Tok vazduha pod pritiskom do spoljašnje cevi

Ubrzani projektil se kreće prema membrani dok se isti ne sudare kao na slici 10. Takav tip sudara naziva se centralni čeon [4].



Slika 10 – Sudar projektila i membrane

Prilikom sudara, dolazi do lokalne deformacije sonde. Na mikroskopskom nivou, na mestu sudara dešava se odstupanje molekula materijala membrane iz svog ravnotežnog položaja u smeru kretanja projektila prema njoj, usled čega dolazi do prostiranja longitudinalnih talasa kroz nju u istom smeru. Energija deformacije se prenosi na susedne čestice sve dok talas ne stigne do izlazne površine talasovoda. Tada, površinske čestice sonde predaju jedan deo svoje energije molekulima okoline, čime se u toj sredini generišu kompresioni mehanički talasi. Takav izlazni signal može se videti na slici 11.

Povratak izvršnog organa u početno stanje posle sudara podrazumeva vraćanje projektila i membrane u početnu poziciju. Rasterećenje vazdušnog pritiska koji postoji u komorama aktuatora takođe spada u taj proces.



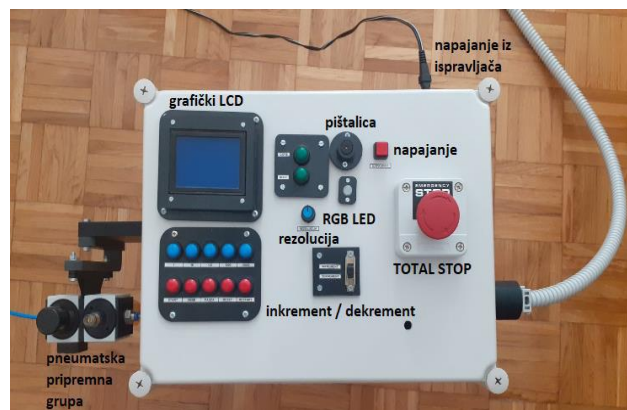
Slika 11 – Izlazno talasno polje aktuatora

Kako na sondu deluju elastične sile dva O-prstena koji je obavijaju, očigledno je da se posle sudara membrana vrati u početni položaj relativno brzo u odnosu na metak. Za razliku od talasovoda, projektil treba da pređe put kroz unutrašnju cev da bi dospeo do svoje početne lokacije. Povratak mu omogućava kinetička energija koju ima usled sudara, kao i vazdušni pritisak u aktuatoru koji postoji usled akumuliranog vazduha u komori spoljašnje cevi. Uticaj sile gravitacije zavisi od ugla nagiba aktuatora.

Namena izvršnog organa je generisanje između 2000 i 2200 impulsa kompresionih talasa na svom izlazu za vreme jednog neprekidnog radnog režima. Željena frekvencija kojom se odvijaju ciklusi je između 8 i 10 Hz.

4. UPRAVLJAČKA KUTIJA

Podešavanje karakteristika upravljačkih signala razvodnog ventila omogućeno je posredstvom korisničkog interfejsa koji se sastoji od električnih i pneumatskih komponenti. Interfejs se nalazi na upravljačkoj kutiji koja je prikazana na slici 12. Sve hardverske komponente sa kojima korisnik može direktno interagovati su naznačene, osim tastera zbog preglednosti.

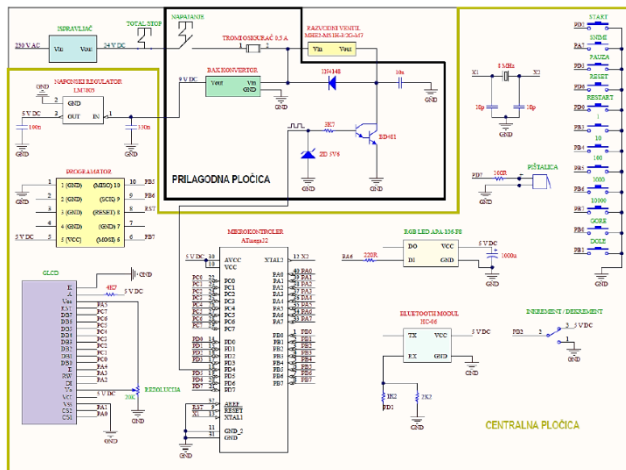


Slika 12 – Upravljačka kutija

Pneumatska priprema grupa omogućava podešavanje vazdušnog pritiska pomoću kojeg se upravlja izvršnim organom. Predstavlja jedinu neelektričnu celinu sa kojom korisnik može direktno da interaguje.

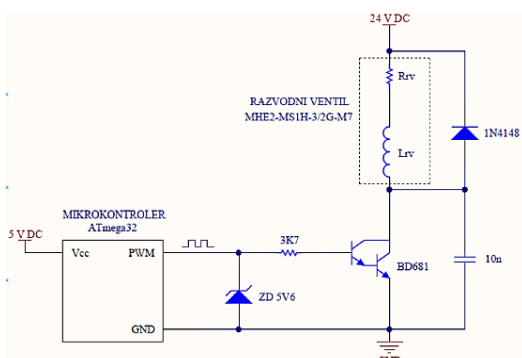
Posredstvom električnih komponenta upravljačke kutije može se podesiti faktor ispune i frekvencija ulaznog električnog PWM signala razvodnog ventila, kao i broj perioda impulsno širinske modulacije koje karakteriše jedan neprekidni radni režim aktuatora. Vrednosti

podešenih parametara mogu se videti na grafičkom displeju. Funkcije električnih komponenti usklađene su posredstvom interne elektronike upravljačke kutije. Ona sadrži mikrokontroler u kojem je implementiran firmver (*firmware*) koji sinhronizuje rad svih električnih periferija sistema. Kompletan električna šema sistema data je na slici 13.



Slika 13 – Električna šema sistema

Električno potkolo namenjeno za upravljanje razvodnim ventilom izdvojeno je na slici 14. Električni model razvodnika predstavljen je rednom vezom otpornika i kalema [5]. Istim se upravlja posredstvom Darlingtonove sprege bipolarnih *NPN* tranzistora koji rade u prekidačkom režimu. Na bazu ulaznog tranzistora dovodi se naponska impulsno širinska modulacija sa izlaznog pina mikrokontrolera. Na taj način ostvaruje se pneumatski *PWM* signal na izlaznom vodu elektromagnetnog ventila kojim se upravlja radom izvršnog organa. S obzirom da su vremena uključenja i isključenja razvodnika veoma slična i kratka, faktor ispuhe i perioda *PWM* signala na izlaznom pinu mikrokontrolera su približno ista kao i izlazna pneumatska impulsno širinska modulacija razvodnog ventila. Zener dioda onemogućava pojavu prevelike bazne struje spregnutih tranzistora koja bi mogla da uzrokuje pregrevanje i trajan prekid rada Darlingtonovog spoja.



Slika 14 – Električno potkolo namenjeno za upravljanje razvodnim ventilom

5. PROVERA RADA SISTEMA

Merenje izlaznog signala posredstvom mikrofona nije obavljeno u okviru istraživačkog rada pošto zahteva laboratorijske uslove koji sprečavaju interferenciju

mehaničkih talasa. Međutim, poznato je da se dejstvo kompresionih talasa dovoljno velike amplitude manifestuje u obliku bola lokalne okoline na ljudskom telu (odnosno koži) na koje deluju. Drugim rečima, empirijski se može ustanoviti njihovo postojanje. Prema tome, izvršena je provera rada sistema pri različitim frekvencijama upravljačke impulsno širinske modulacije na osnovu koje je zaključeno postojanje talasnog polja na izlazu sistema.

Karakteristike upravljačkog signala pri kojem je postignuto izlazno talasno polje koje čovek može fizički osetiti date su u tabel 1. Za vreme ispitivanja aktuator je bio u horizontalnom položaju.

redni broj	pneumatski pritisak (bar)	faktor ispuhe (%)	frekvencija (Hz)	broj perioda
1.	6	10	8	2000
2.	6	10	9	2000
3.	6	10	10	2000

Tabela 1 - Karakteristike upravljačkog signala pri kojima čovek može fizički osetiti postojanje talasnog polja

6. ZAKLJUČAK

Sudar projektila i membrane predstavlja ključan proces koji se dešava za vreme rada aktuatora. Dalji razvoj sistema mogao bi obuhvatiti analitičke i numeričke procedure kojim bi se matematički modelovale funkcije sila koje utiču na dinamiku sudara projektila i sonde, kao i merenje izlaznog signala posredstvom mikrofona.

7. LITERATURA

- [1] Tanasijan L. (2011), *Terapija udarnim talasima*, diplomski rad, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet.
- [2] Pavlović Š. Dragana, Mijić M. (2017), *Elektroakustika*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet.
- [3] Cvetić J. (2003), *Talasi*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet.
- [4] Belić S. Dragoljub (1994), *Fizika I*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju.
- [5] Čajetinac S. (2012), *Prilog razvoju modela odlučivanja za izbor elektropneumatskog upravljanja*, doktorska disertacija, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.

Kratka biografija

Nikola Ristić rođen je u Novom Sadu 26.02.1995. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronika – Mehatronika, robotika i automatizacija odbranio je 2018.god.
kontakt: nikolaristic30@gmail.com



**PRIMENA DUBOKOG UČENJA SA PODSTICAJEM ZA PLANIRANJE KRETANJA
ROBOTSKOG MANIPULATORA****DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR MOTION PLANNING OF ROBOTIC
MANIPULATORS**

Lazar Milić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

**Oblast – MEHATRONIKA, ROBOTIKA I
AUTOMATIZACIJA**

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazana je primena dubokog učenja sa podsticajem za rešavanje problema planiranja kretanja robotskim manipulatorom. Ovakvim pristupom omogućava se generalizacija algoritama planiranja kretanja za industrijska i neindustrijska okruženja. Takođe, pokazano je poređenje stohastičkih i determinističkih tipova algoritama za rešavanje problema planiranja kretanja.

Ključne reči: Duboko učenje sa podsticajem, planiranje kretanja, neuronske mreže, robotika

Abstract – In this paper we present Deep Reinforcement Learning framework as a way to solve problems of motion planning in robotics. With Deep Reinforcement Learning it is possible to generalize motion planning algorithms for both industrial and non-industrial environments. In the end, we compared both stochastic and deterministic algorithms for solving motion planning problem.

Keywords: Deep Reinforcement Learning, motion planning, neural networks, robotics

1. UVOD

Manipulacija objektima jedan je od većih otvorenih problema u robotici, naročito ako struktura objekta nije poznata. Kako je korišćenje klasičnih metoda upravljanja robotima i robotskim manipulatorima za rešavanje problema manipulacije objektima samo po sebi težak zadatak, čija kompleksnost raste uz povećanje domena primene tog sistema, teži se ka generalizaciji rešenja ovog problema. Pored problema manipulacije objektima različitih struktura, javlja se problem primene algoritma upravljanja na različite robotske konfiguracije. Sl. 1 ilustruje postavku opisanog problema nestruktuirane raspodele objekata u prostoru.

U ovom radu će biti predložena metoda upravljanja robotskim sistemom zasnovana na učenju sa podsticajem (eng. *reinforcement learning* - RL), za manipulaciju objektima nepoznate strukture u nestruktuiranom okruženju. Cilj je razvoj upravljačkog algoritma opšte namene, koji će biti nezavisan od konfiguracije robota.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirko Raković, van. prof.



Slika 1. Primer nestruktuiranog rasporeda objekata [1].

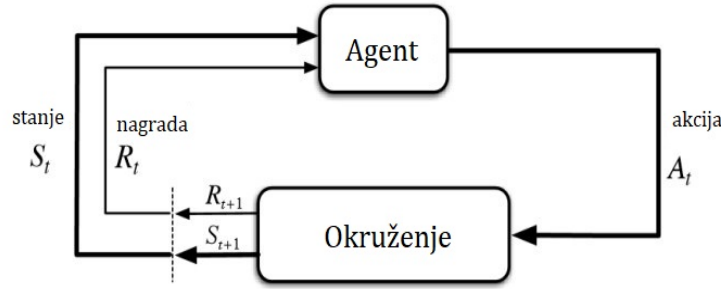
2. UČENJE SA PODSTICAJEM

Reinforcement learning (RL) je grana mašinskog učenja bazirana na sekvencijalnom odlučivanju [2]. Problem koji se posmatra u RL se sastoji od agenta i njegovog okruženja. RL agent, u daljem tekstu agent, vrši neke akcije u okruženju u kome se nalazi i za to dobija određene nagrade. Proces nagrađivanja predstavlja povratnu informaciju agentu od strane okoline, govoreći koliko je izvršena akcija dobra za dati trenutak. Zadatak agenta jeste pronalaženje optimalne politike (eng. *policy*), odnosno mapiranje trenutnog stanja u akcije, tako da se maksimizuje očekivana ukupna nagrada.

Razlika između *reinforcement learning*-a i mašinskog učenja pod nadzorom (eng. *supervised learning*) je u tome što agent u datom trenutku ne zna koja od mogućih akcija je optimalna za dobijanje maksimalne očekivane sume nagrada. Proces učenja agenta se zasniva na principu pokušaja (eng. *trial and error*).

RL problem je definisan u sklopu optimalnog upravljanja za Markovljev proces odlučivanja (eng. *Markov Decision Process*, MDP).

Ostale komponente u RL učenju kao što su politika, vrednosna funkcija i Belmanov uslov optimalnosti će biti razmatrani u ovom poglavlju. Pored navedenih komponenti RL-a, u ovom poglavlju će biti opisani različiti tipovi pristupa u RL, to su algoritmi bazirani na modelu (eng. *model-based*) i bez modela (eng. *model-free*). Na slici 2. ilustrovana je interakcija agenta sa njegovim okruženjem.



Slika 2. Ilustracija procesa interakcije agenta sa okruženjem, izvor: autor.

2.1. Markovljev proces odlučivanja

Markovljev proces odlučivanja je definisan sa:

- Skupom stanja, $s \in S$, gde je S prostor stanja
- Skupom akcija, $a \in A$, gde je A prostor akcija
- Skalarnom nagradom, r
- Verovatnoćom tranzicije iz jednog stanja u drugo

$$p(s, a) = P_r(s_{t+1} = s' | s_t = s, a_t = a)$$

- Funkcijom nagrade, $R: S \times S \times A \rightarrow \mathbb{R}$

$$R(s, a, s') = E(r_t | s_t = s, a_t = a, s_{t+1} = s')$$

- Faktorom odbitka (eng. *discount factor*), γ

Funkcija nagrade i verovatnoće prelaska definišu najvažnije aspekte MDP i uglavnom se smatraju nepoznatim u opštem slučaju u oblasti *reinforcement learning*-a.

Odabir akcija od strane agenta se modeluje preko funkcije mapiranja koja se naziva *policy*. *Policy* je definisana kao mapiranje stanja u akcije.

Policy može biti deterministička, u tom slučaju zavisi isključivo od trenutnog stanja, $\pi(s)$, ili stohastička, $\pi(a|s)$, tako da definiše distribuciju verovatnoća nad akcijama za dato stanje.

2.2. Value funkcija

Kako bi agent mogao da odluči koju akciju da odabere u određenom trenutku, važno je da agent zna koliko je dobro trenutno stanje u kome se agent nalazi. Način određivanja koliko je neko stanje dobro je preko vrednosne funkcije. Vrednosna funkcija je definisana kao očekivana suma nagrada koju bi agent dobio ako nastavi da prati *policy* π iz stanja s . Vrednosna funkcija, $V_\pi(s)$ za politiku π data je kao:

$$\begin{aligned} V_\pi(s) &= \mathbb{E}_\pi(G_t | s_t = s) \\ &= \mathbb{E}_\pi \left(\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k} | s_t = s \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Slično tome, vrednosno-akciona funkcija (eng. *action value function*), poznatija kao Q-funkcija, se može definisati kao očekivana suma nagrada delujući akcijom a u stanju s , a zatim prateći politiku π . Vrednosno-akciona, $Q_\pi(s, a)$ je data kao:

$$\begin{aligned} Q_\pi(s, a) &= \mathbb{E}(G_t | s_t = s, a_t = a) \\ &= \mathbb{E}_\pi \left(\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k} | s_t = s, a_t = a \right) \end{aligned} \quad (2)$$

2.3. Belmanove jednačine optimalnosti

Belmanove jednačine formulišu problem maksimizovanja očekivane sume nagrada upotrebom rekurzivne osobine vrednosne funkcije. Politika π se smatra boljom od neke druge politike π' ako je očekivana povratna vrednost te politike veća od π' za svako $s \in S$, što implicira $V^\pi(s) \geq V^{\pi'}(s)$ za svako $s \in S$. Belmanove jednačina optimalnosti za *value* i *action value* funkcije definisane su kao:

$$\begin{aligned} V_*(s) &= \max_a \mathbb{E}_{\pi^*}(G_t | s_t = s, a_t = a) \\ &= \max_a \mathbb{E}_{\pi^*} \left(\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k} | s_t = s, a_t = a \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Q_*(s, a) &= \mathbb{E}(r_t + \gamma \max_{a'} Q_*(s_{t+1}, a') | s_t = s, a_t = a) \\ &= \sum_{s'} p(s' | s, a) [R(s, a, s') + \gamma \max_{a'} Q_*(s', a')] \end{aligned} \quad (4)$$

3. DUBOKO UČENJE SA PODSTICAJEM

Popularnost primene dubokog učenja u oblasti *reinforcement learning*-a znatno je skočila prethodnih godina.

Termin *Deep Reinforcement Learning* (DRL) predstavlja primenu dubokih neuronskih mreža za aproksimaciju *value* ili *policy* funkcija u oblasti *reinforcement learning*-a.

DRL je u svojim prvim koracima razvoja postigao nivo uspešnosti rešavanja, odnosno igranja kompjuterskih Atari igara na nivou čoveka, kao i za kontrolu visokodimenzionalnih problema u 3D prostoru.

Činjenica da je primena dubokih neruonskih mreža za rešavanje RL problema veoma pogodna za upravljanje modelima visokih dimenzija observabilnosti i akcija, DRL je pronašao svoju primenu u robotici i kao takav je praktičan za upravljanje robotskim šakama, robotskim manipulatorima, autonomnim platformama i sl.

3.1. Deep Deterministic Policy Gradient

Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) [3] spada u grupu *actor-critic* algoritama. DDPG koristi teoremu o determinističkom gradijentu politike za ažuriranje *policy* funkcije.

Nestabilnost algoritma prilikom treninga, kao i kovarijansa između podataka prikupljenih tokom jedne epizode u okruženju se rešava korišćenjem *replay buffer*-a.

Svaka tranzicija koju agent izvrši u okruženju se skladišti u memoriju i tokom svakog optimizacionog koraka nasumično se uzorkuje skup tranzicija za obuku.

Funkcija koja se optimizuje u DDPG algoritmu je definisana kao:

$$L = \mathbb{E}_{s \sim \rho_\beta, a \sim \beta} (y - Q(s, a; \theta^Q))^2 \quad (5)$$

3.2. Soft Actor Critic

Soft Actor-Critic (SAC) [4] pripada grupi *off-policy actor-critic* algoritama. Cilj kod SAC algoritma jeste maksimizovanje entropije pored optimizacije ukupne očekivane vrednosti nagrade. Funkcije koje se optimizuju u SAC algoritmu su:

$$J_Q(\theta) = E_{(s_t, a_t) \sim D} \left[\frac{1}{2} \left(Q_\theta(s_t, a_t) - (r(s_t, a_t) + \gamma E_{s_{t+1} \sim p} [V_{\bar{\theta}}(s_{t+1})]) \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$J_\pi(\phi) = E_{s_t \sim D} \left[E_{a_t \sim \pi_\phi} \left[\alpha \log \log \left(\pi_\phi(s_t) - Q_\theta(s_t, a_t) \right) \right] \right] \quad (7)$$

$$J(\alpha) = E_{a_t \sim \pi_t} [-\alpha \log \log \pi_t(s_t) - \alpha \bar{\mathcal{H}}] \quad (8)$$

4. OBUČAVANJE ALGORITAMA

U ovom poglavlju će biti opisano simulaciono okruženje u kome je izvršena obuka algoritama upotrebom dubokog učenja sa podsticajem.

4.1. Simulacija

Pybullet je dodatak za *Python* programski jezik koji služi za simuliranje robotskih sistema, vizije i dr. Prednosti korišćenja simulacije su mogućnost bržeg izvršavanja komandi u odnosu na realne sisteme.

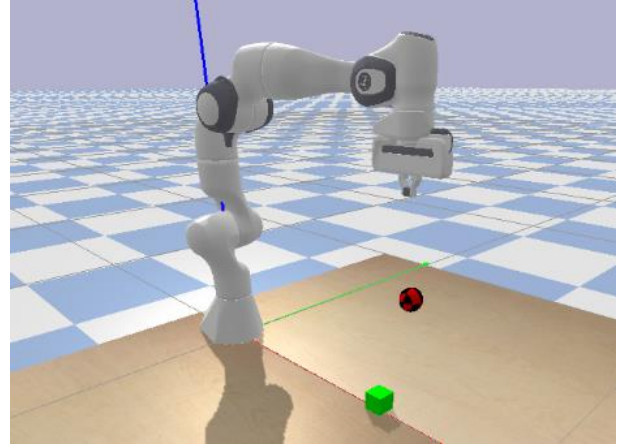
DRL algoritmi inicijalizovani nasumično, njihovo odlučivanje je nepredvidivo bez prethodnog obučavanja, što ih čini nepraktičnim za primenu na realnim sistemima, pošto može doći do oštećenja sistema ili do povrede čoveka u slučaju njegovog prisustva.

Iz tog razloga je pogodno koristiti simulacije za obučavanje algoritma.

Simulacija upotrebljena za obučavanje algoritama se sastoji od Frank Emika robota, čija baza se nalazi na stolu. Zadatak koji robot treba da ispune jeste manipulacija kockom, čija je inicijalna pozicija uniformno uzorkovana u granicama radnog prostora robota u ravni stola, u pozitivnom delu x-ose.

Simulacija radi brzinom od 240Hz, a zadavanje akcija od strane agenta se izvršava brzinom od 30Hz.

Na slici 3. prikazan je izgled simulacija Franka Emika robota, koji ima zadatak da pokupi kocku koja se nalazi u ravni stola i odnese je u poziciju naznačenu crveno-crnim sferom.



Slika 3. Simulirano okruženje u kome su obučavani algoritmi, izvor: autor.

4.2. Detalji implementacije algoritama

Algoritmi čije performanse su poređene za planiranje kretanja robotskog manipulatora su DDPG i SAC. Da bi agent izvršio zadatak potrebno je da reši dva problema određenim redosledom.

Prvi problem jeste hvatanje kocke, nakon toga agent treba da kocku premesti na odgovarajuće mesto, zadato na početku epizode.

Iz tog razloga su algoritmi SAC i DDPG implementirani u kombinaciji sa HER tehnikom.

U tabelama 1. i 2. prikazani su detalji implementacije SAC i DDPG algoritma.

Tabela 1. Detalji implementacije SAC algoritma

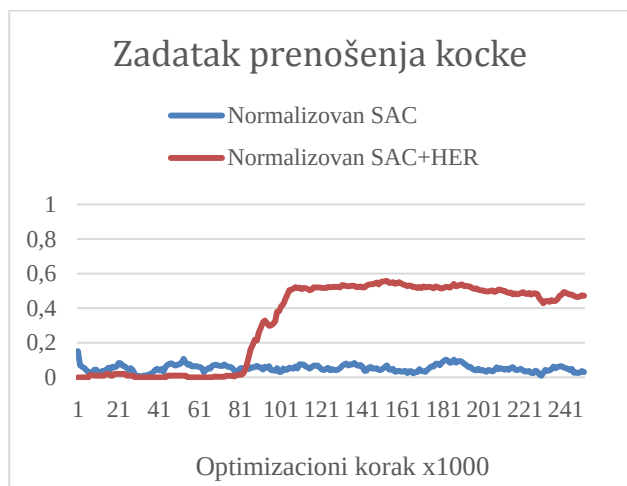
Broj skrivenih neurona za <i>actor</i> i <i>critic</i> mrežu	256
Broj skrivenih slojeva za <i>actor</i> i <i>critic</i> mrežu	2
Koeficijent brzine učenja za <i>actor</i> i <i>critic</i> mrežu	0.001
Gamma	0.99
Tau	0.005
Koeficijent brzine učenja α parametra	0.0003
Batch	256
Maksimalan broj tranzicija u memoriji	1,000,000

Tabela 2. Detalji implementacije DDPG algoritma

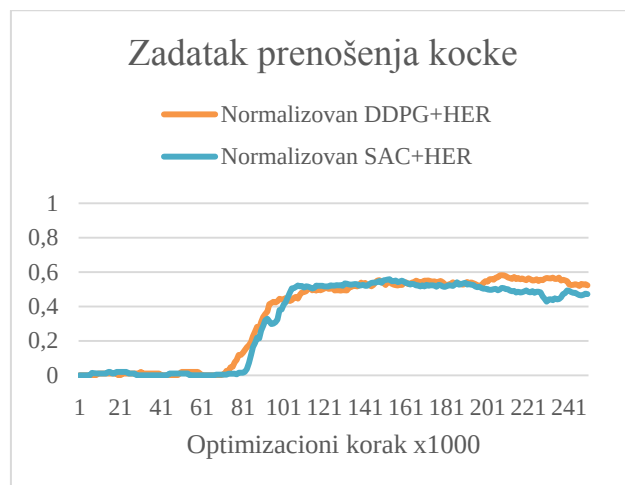
Broj skrivenih neurona za <i>actor</i> i <i>critic</i> mrežu	256
Broj skrivenih slojeva za <i>actor</i> i <i>critic</i> mrežu	3
Koeficijent brzine učenja za <i>actor</i> i <i>critic</i> mrežu	0.001
γ	0.98
τ	0.005
μ	0
σ	0.25
θ	0.15
Batch	256
Maksimalan broj tranzicija u memoriji	1,000,000

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata, pokazano je da se duboko učenje sa podsticajem može koristiti za planiranje kretanja. Na slici 4. prikazano je poređenje rezultata obuke SAC algoritma i SAC algoritma sa HER tehnikom. Slika 5. predstavlja poređenje rezultata obuke SAC i DDPG algoritma uz korišćenje HER tehnike za zadatak manipulacije kockom.



Slika 4. Poređenje rezultata obuke SAC algoritma sa i bez upotrebe HER tehnike, izvor: autor.



Slika 5. Poređenje rezultata obuke SAC i DDPG algoritma, sa upotrebom HER tehnike, izvor: autor.

6. LITERATURA

- [1] <https://www.roboticsbusinessreview.com/manufacturing/deep-learning-factory-automation/> (pristupljeno u martu 2020.)
- [2] R. S. Sutton, A. G. Barto "Reinforcement learning, an introduction", MIT Press, Cambridge, MA, 2018.
- [3] T. P. Lillicrap, J. J. Hunt, A. Pritzel, N. Heess, T. Erez, Y. Tassa, D. Silver, D. Wierstra, "Continuous Control with Deep Reinforcement Learning", ICLR, 2016..
- [4] T. Haarnoja, A. Zhou, P. Abbeel, S. Levine, "Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor", ICML, 2018.

Kratka biografija:

Lazar Milić rođen je u Vrbasu, 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike - Mehatronike, robotike i automatizacije je odbranio 2020. god.

kontakt: lazarmilic2@gmail.com

REALIZACIJE PROTOTIPOVA DVOPRSTIH HVATALJKI AKTUIRANIH ELEKTRIČNIM MOTOROM ZA PRIMENU NA INDUSTRIJSKOM ROBOTU

RAPID PROTOTYPING OF TWO-FINGERED GRIPPERS ACTUATED WITH ELECTRIC MOTOR FOR INDUSTRIAL ROBOTS

Tanja Berisavljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA, ROBOTIKA I AUTOMATIZACIJA

Kratak sadržaj – Kao alati za baratanje predmetom rada u industriji, vrlo često se koriste hvataljke koje predstavljaju poslednji segment industrijskog robota. Najčešće korišćene hvataljke jesu dvoprste hvataljke. Dizajn dva različita protipa aktuirana pomoću električnog motora biće opisana u ovom radu. Takođe, proračunate su i sile u vrhovima prstiju hvataljki, kako bi se odredilo koja je jačina stiska samih hvataljki. Proračuni su odrađeni na teorijskom nivou i na nivou simulacija.

Ključne reči: Dvoprste hvataljke, električni motor, prototip, sila stiska

Abstract – Most commonly used tools for handling objects in industrial environment are grippers. They usually represent end-effectors of industrial robots. Two-fingered grippers are the ones that are most commonly used. Design of two different prototypes actuated with electric motor is shown in this paper. Furthermore, the contact force in fingertips is calculated. With that calculation the prehension force of grippers is obtained. All calculations are performed on theoretical level and through simulation.

Keywords: Two-fingered grippers, electric motor, prototype, prehension force

1. UVOD

Hvataljke predstavljaju aktivne veze između opreme za rukovanje i predmeta rada, ili u opštem slučaju između hvatanih delova (uglavnom prsti hvataljke) i objekta koji treba uhvatiti. Alat ili organ za hvatanje je krajnji deo kinematskog lanca u sistemu zglobova industrijskog robota i omogućavaju interakciju sa radnim okruženjem. Iako postoje univerzalne hvataljke sa širokim rasponom zahvata koje se mogu koristiti na različitim oblicima objekata, u mnogim slučajevima moraju biti prilagođeni specifičnim zadacima.

Hvataljke su podsystemi mehanizama za hvatanje koji pružaju kratkotrajni kontakt sa objektom koji treba uhvatiti. Obezbeđuju poziciju i orijentaciju dok nose i spajaju objekat sa opremom za rukovanje. Hvatanje se postiže delovanjem sile na uhvaćeni objekat.

NAPOMENA:

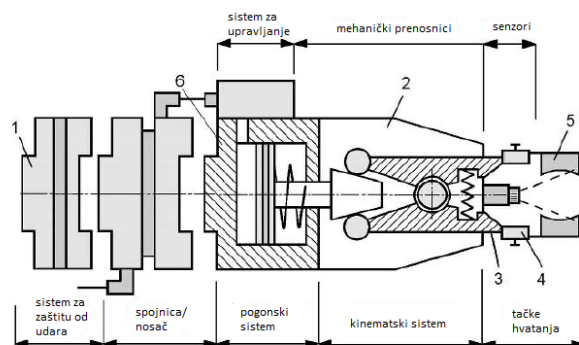
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirko Raković, van. prof.

2. MEHANIČKE HVATALJKE

Mehaničke hvataljke se najčešće koriste u granama industrije zbog svoje velike raznolikosti u primeni. Mogu se sastojati iz dva do pet prstiju koji se najčešće kreću sinhronizovano. Zahtevaju jednostavne mehanizme čija fizička interpretacija potiče iz klasične mehanike. Kompleksnost hvataljke delimično zavisi i od njenog broja stepeni slobode, što je potrebno shvatiti kao potreban broj nezavisnih aktuatora koji su potrebni da bi potpuno definisali kretanje svih delova hvataljke.

Za najjednostavniju je potreban samo jedan aktuator, ali broj stepeni slobode raste sa usložnjavanjem zadatka koji hvataljka mora da izvrši.

Postoje određeni karakteristični termini koji se često koriste u tehnologiji hvatanja. Hvataljke se uglavnom sastoje iz nekoliko modula i komponenti. Na slici 1 je prikazan podsystem mehaničkih hvataljki [1].



Slika 1. Podsystemi mehaničke hvataljke
(1-poslednji zglob industrijskog manipulatora, 2-prenosnik, 3-prst hvataljke, 4-obične čeljusti, 5-prirubnica) [1]

3. PROTOTIPOVI DVOPRSTIH HVATALJKI

U ovom poglavlju biće detaljno opisan dizajn i princip rada oba prototipa hvataljki.

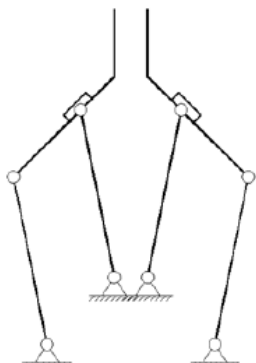
Oba prototipa su nacrtana i izmodelirana u programu SOLIDWORKS 2016. U daljim potpoglavljima biće detaljno opisana konstrukcija i princip rada svakog prototipa.

3.1. Kinematski lanac Prototipa 1

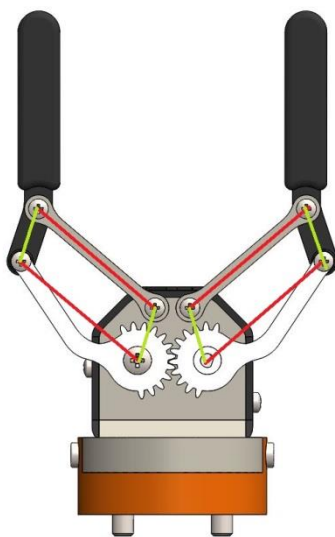
Kinematski lanac se sastoji iz međusobno povezanih kinematskih parova. Kinematski parovi se sastoje iz dva člana (kruta tela vezana sa dve ili više veza) čije je međusobno relativno kretanje definisano vezom između njih. Mehanizam se definiše kao kinematski lanac gde je jedan član kruto vezan za referentni nepokretni element (osnova, postolje itd.) i kao rezultat ulaznog kretanja, dobija se kontrolisano izlazno kretanje.

Prsti hvataljke Prototipa 1 se kreću paralelno jedan u odnosu na drugi, konstantno održavajući paralelogramski odnos među svojim prstima (slika 2). Na slici 3 prikazan je crtež Prototipa 1, na kom su bojama označene stranice paralelograma. Crvene i zelene linije predstavljaju paralelogram koji je osnova ovog mehanizma gde poluge koje pripadaju istim bojama moraju biti istih dimenzija [2]. Zelene stranice paralelograma moraju uvek da budu paralelne i jedna od tih stranica je fiksirana.

Za prenos obrtnog momenta sa motora na poluge prstiju korišćeni su cilindrični zupčanci sa pravim zupcima, takođe prikazani na slici 3.



Slika 2. Paralelogramski mehanizam



Slika 3. Paralelogramski odnos poluga prstiju hvataljke, i prenosni zupčanci

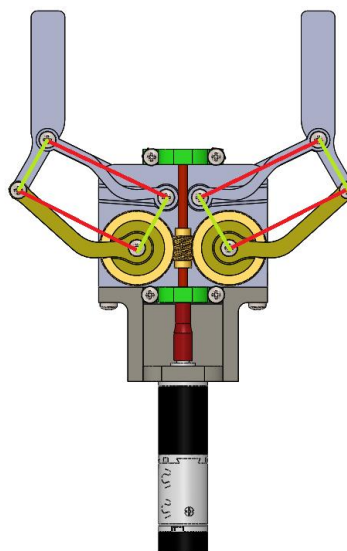
Sprezanje zubaca zupčastog para ostvaruje se kotrljanjem zamišljenih kinematskih kružnica i istovremenim međusobnim dodirivanjem bokova spregnutih zubaca. Tačka dodira profila zubaca pomera se od podnožja ka temenu kod pogonskog zupčanika i od temena ka podnožju kod gonjenog.

Izbor prenosnika vrši se na osnovu njihova tri glavna radna parametra: prenosnog odnosa, stepena iskorišćenja i odnosa obrtnog momenta na ulazu i na izlazu [3].

Na Prototipu 1 zupčanci su spojeni sa polugama čineći jednu pokretnu celinu. Izgled pogonske i gonjene poluge se razlikuje, jer se vratilo motora direktno povezuje na pogonsku polugu. Otvor na pogonskoj poluzi je napravljen da odgovara izgledu vratila, gde je naleganje između otvora i vratila naleganje sa preklopom, pa tako ostvaruju čvrstu vezu jedan između drugog.

3.1. Kinematski lanac Prototipa 2

Kao i kod Prototipa 1, prsti hvataljke se takođe kreću paralelno jedan u odnosu na drugi i kod Prototipa 2, što je prikazano na slici 4. Na slici 4 su istim bojama kao i kod prethodnog prototipa prikazane stranice paralelograma. Prsti hvataljke Prototipa 2 se sastoje od 4 poluge sa leve i se desne strane, od kojih su prednje poluge simetrične jedna u odnosu na drugu po izgledu, a poluge sa zadnje strane su identične po izgledu. Kod Prototipa 2 za prenos obrtnog momenta sa motora na poluge prstiju korišćen je pužni prenosni par, sa jednim pužem i dva pužna zupčanika, što se takođe može videti na slici 4.



Slika 4. Prsti hvataljke i stranice paralelograma

Pužni par je hiperboloidni zupčasti par čije se ose ukrštaju najčešće pod uglom od 90° . Kod pužnih parova mali zupčanik se naziva puž, i ima oblik sličan navojnom vretenu. Veliki zupčanik naziva se pužni zupčanik i ima oblik prilagođen obliku puža. Položaj puža i pužnog zupčanika je simetričan u odnosu na zajedničku normalu ose obrtanja, i u toku sprezanja bokovi njihovih zubaca imaju linijsko dodirivanje.

Dva pužna zupčanika su spregnuta u odnosu na jedan puž [3]. Za potrebe proračuna pužnog para bio je korišćen program *MITCalc*. Za ovaj prototip puž ima 3 namotaja, a pužni zupčanik 36 zubaca.

Prenosni odnos i je jednak $i = 12$. Pužni zupčanci su spregnuti tako da se desni (smer otvaranja hvataljke) rotira u smeru kazaljke na satu, a levi suprotno od smera kazaljke na satu, tj. tako da kad se na zupčanike postave poluge koje čine prste hvataljke, oba prsta istovremeno otvaraju i zatvaraju.

Ovaj pužni par nije standardni, njegov CAD model se dobio direktno iz programa MITCalc.

3.3. Pogonski lanac

Kao pogon za oba prototipa hvataljki korišćen je motor Maxon oznake 456468. To je reklamni model, DC motor, bez četkica, snage 2W, i napaja se sa 12V. Ovaj motor na sebi takođe ima ugrađen i reduktor i enkoder (slika 4). Redukcija reduktora je 104:1, pa krajnji obrtni moment koji ovaj motor generiše na svom vratilu iznosi:

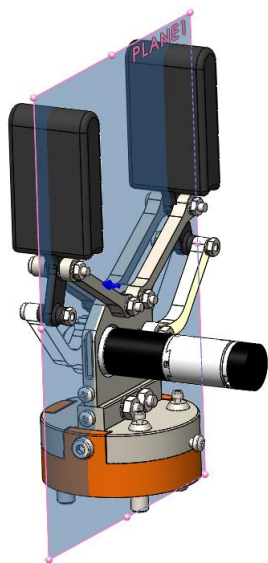
$$T = 4,77 \text{ mNm} \quad (1)$$

Obrtni moment T_r nakon redukcije iznosi:

$$\begin{aligned} T_r &= 4,77 \cdot 104 = 496,08 \text{ mNm} \\ T_r &= 0,49608 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (2)$$

Položaj motora na Prototipu 1 može se videti na slici 5. Motor je postavljen upravno na ravan kretanja prstiju hvataljki. Obrtni moment sa vratila se prenosi na pogonski zupčanik, sa kojeg se prenosi na gonjeni zupčanik, i dalje na prste hvataljke.

Položaj motora na Prototipu 2 nije isti kao kod Prototipa 1. Ovde je motor izmešten tako da stoji u istoj ravni u kojoj se vrši i kretanje prstiju hvataljki (slika 4).



Slika 5. Položaj motora u odnosu na prste hvataljke

3.4. Sile u vrhovima prstiju

Sila u hvataljci je maksimalni napor koji primenjuju vrhovi prstiju hvataljke. Sila zavisi od vrednosti obrtnog momenta motora i dužine prstiju (tj. kraka).

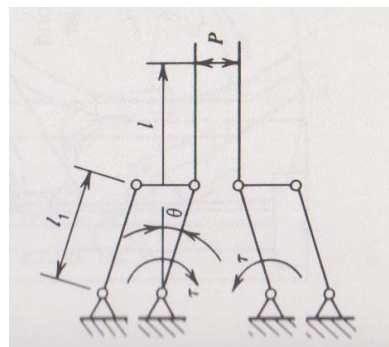
Na slici 6 se može videti na koji način se proračunava sila u prstima hvataljke kada prsti hvataljke čine paralelogram [4].

Sila se na osnovu slike 6, preračunava po formuli:

$$P = \frac{\tau}{l_1 \cdot \cos \theta + l} \quad (3)$$

Gde je:

- τ - obrtni moment
- $l_1 \cdot \cos \theta$ - projekcija dužine prsta na normalu
- l - dužina vrha prsta



Slika 6. Proračun sile u prstima hvataljke [4]

U ovom radu umesto l uzima se $\frac{l}{2}$ jer je određeno da sila deluje na sredini vrhova prstiju, ne pri vrhu. U nastavku će se proračunati ova teorijska sila za oba prototipa, pa će se u narednom delu ovog rada vrednost teorijske sile uporediti sa vrednošću dobijenom simulacijom.

U nastavku sledi kratak proračun sile u Prototipu 1:

$$\begin{aligned} \tau &= 0,496 \text{ Nm} \\ \text{prenosni odnos} &\rightarrow i = 1 \\ l_1 &= 43 \text{ mm} \\ \frac{l}{2} &= 21,5 \text{ mm} \\ \theta &= 18,43^\circ \\ P_1 &= \frac{\tau}{l_1 \cdot \cos \theta_1 + \frac{l}{2}} = 7,96 \text{ N} \end{aligned} \quad (4)$$

Teorijska sila na osnovu ovog proračuna iznosi približno 8 N.

Za Prototip 2 je takođe izračunata teorijska sila koja deluje u vrhovima prstiju hvataljke. Njen proračun sledi u nastavku:

$$\tau = 0,49608 \text{ Nm}$$

Prenosni odnos pužnog para iznosi 12, a za stepen iskorišćenja je uzeto da bude 0,4. Nakon redukcije na pužu nov obrtni moment iznosi:

$$\tau_{\text{new}} = 0,49608 \text{ Nm} \cdot 12 \cdot 0,4 = 2,38 \text{ Nm} \quad (5)$$

Nakon što je dobijen nov obrtni moment, vrednost iz jednačine (5) se ubacuje u jednačinu (3) da bi se izračunala teorijska sila. Vrednosti l i l_1 su iste, što znači da su prsti i jedne i druge hvataljke jednake dužine. Vrednost ugla θ iznosi 30° . Teorijska sila P iznosi:

$$P_2 = \frac{\tau_{\text{new}}}{l_1 \cdot \cos \theta_2 + \frac{l}{2}} = 40,52 \text{ N} \quad (6)$$

Iz jednačina (4) i (6) može se zaključiti da je sila P_2 mnogo veća od sile P_1 , tj. veća je čak 8 puta. To znači da je stisak kod Prototipa 2 osam puta veći nego stisak kod Prototipa 1. Taj zaključak je moguće i izvući zdravorazumski, jer pužni prenosnici imaju mnogo veći prenosni odnos nego cilindrični par, što dodatno povećava obrtni moment.

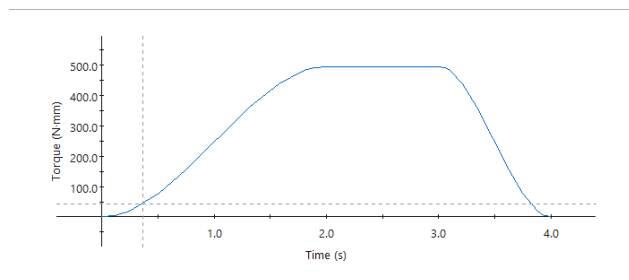
4. SIMULACIJA I PRORAČUNI

Simulacija i proračun sile u vrhovima prstiju hvataljke je odrađen takođe u programu *SOLIDWORKS 2016*. Program ima opciju, kako modelovanja, tako i analize kretanja (eng. *Motion Analysis*). Za potrebe ovog rada vršen je proračun kontaktne sile između dodirnih površina

vrhova prstiju. Sila je merena kao vektorska veličina, i merena je njena vrednost u pravcu x-ose.

Nakon što je dodat obrtni moment na pogonski zupčanik za Prototip 1, tj. na puž za Prototip 2, mora se odabrati upravljanje istim. Upravljanje može biti zadato i kao samo konstantno delovanje obrtnog momenta, ali u ovom radu je odabrano upravljanje po segmentima, kako je nazvano u *SOLIDWORKS*-u.

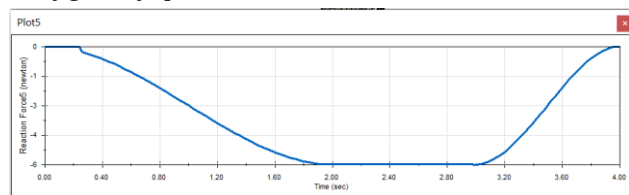
Segmentno upravljanje je zapravo upravljanje obrtnim momentom tokom vremena. Izgled funkcije upravljanja dat je na slici 7.



Slika 7. Upravljanje obrtnim momentom u vremenu

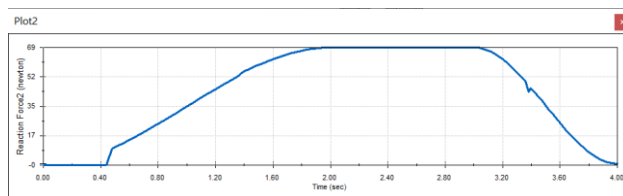
Sa slike 7 vidi se da se u vremenskom periodu od 0 do 2s obrtni moment povećava sa 0 na 496 Nmm po kubnoj funkciji (ona je zadata kao predefinisana funkcija oblika $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$). Od 2 do 3s obrtni moment se ne povećava, ostaje konstantan na 496 Nmm. Od 3 do 4s obrtni moment se smanjuje do nule. Zadato upravljanje je isto za obe hvataljke, kako bi dobijeni rezultati mogli ravnopravno da se uporede.

U programu *SOLIDWORKS* se, nakon proračuna teorijske sile, izračunala kontaktna sila po zakonu upravljanja obrtnim momentom za Prototip 1. Pri izračunavanju sile, simulacija računa njenu vektorsku vrednost u pravcu x-ose u svakom kadru. Nakon što se proračun izvrši, na ekranu se pojavljuje grafik gde je prikazana zavisnost kontaktne sile (u Njutnima) od vremena (u sekundama). Ovaj grafik je prikazan na slici 8.



Slika 8. Grafik kontaktne sile u vrhovima prstiju za Prototip 1

Sila je takođe proračunata i za Prototip 2, nakon što je obrtni moment postavljen na puž kao prenosnik obrtnog momenta sa motora, izvršen je proračun, i grafik sile u odnosu na vreme je dat na slici 9.



Slika 9. Grafik kontaktne sile u vrhovima prstiju za Prototip 2

Kontaktne sile na oba grafika su srazmerne upravljanju obrtnim momentom. U približno istom trenutku se vidi nagli skok sile, što predstavlja inicijalni kontakt dodirnih površina. Sile proračunate u simulaciji su srazmerne silama koje su teorijski izračunate, što je i bio traženi rezultat.

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana dva različita dizajna prototipa dvo-prstih hvataljki, od kojih je jedan pogonjen preko cilindričnog zupčastog para, a drugi preko pužnog prenosnog para. Takođe, izračunate su sile u vrhovima prstiju, teorijske i preko simulacije. Sile u vrhovima prstiju su srazmerne obrtnom momentu koji deluje na prste hvataljki.

Takođe, rezultati dobijeni simulacijom su odgovarajući rezultatima dobijenim teorijskim proračunom. U budućnosti, biće potrebno izraditi ove prototipove, i izvršiti iste proračune na realnim modelima. Ove hvataljke se u budućnosti mogu koristiti kao dobri alati za dodavanje taktilnih senzora na prste hvataljke i prikupljanje taktilnih informacija uhvaćenog predmeta, što je i namera dalje upotrebe ovih prototipova.

6. LITERATURA

- [1] Monkmann G.J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H., (2007) *Robot Grippers*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [2] Gil Fuster A. , (2015), *Gripper design and development for a modular robot*, Diplomski rad, Tehnički Univerzitet Danske
- [3] Miltenović V., (2009) *Mašinski elementi*, 7.izdanje, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet
- [4] Nof Y. Simon, (1985) *Handbook of industrial robotics*, John Wiley & Sons Inc

Kratka biografija:



Tanja Berisavljević rođena je u Novom Sadu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike odbranila je 2020.god.
kontakt: tanja.berisavljevic@gmail.com

NADZOR I UPRAVLJANJE MAŠINOM UPOTREBOM VIRTUELNE REALNOSTI MACHINE MONITORING AND CONTROLLING USING VIRTUAL REALITY

Arpad Pletikosić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – Tema ovog rada jeste ispitivanje mogućnosti virtuelnog okruženja za prikaz stvarnog stanja mašine. Razvijeni model virtuelne slike mašine, koji se prikazuje pomoću VR naočara, će obezbediti lakše nadgledanje i upravljanje mašinom, kao i jednostavniju obuku novih radnika.

Ključne reči: Mehatronika, Virtuelna realnost, Industrija 4.0

Abstract – The topic of this paper is to examine the possibility of a virtual environment to display the actual state of the machine. The development model of the virtual machine which is presented with the virtual glasses of the image of the machine, which is displayed using VR glasses, will provide easier monitoring and control of the machine, as well as easier training of new workers.

Keywords: Mechatronics, Virtual reality, Industry 4.0

1. UVOD

Četvrta industrijska revolucija je neosporno najviše pominjana tema u poslednjim godinama. Ovaj termin integriše sva dostignuća današnjice u svim segmentima automatizovane proizvodnje. Od samih automatizovanih mašina, sa ugrađenom mašinskom inteligencijom, mogućnostima umrežavanje, integracije, organizacije i reorganizacije proizvodnje u realnom vremenu, upravljanje i nadzor mašina sa udaljene lokacije, akviziciju podataka, optimizaciju i još mnogo drugih aspekata, koji su do pre desetak godina u potpunosti bila nezamisliva.

Zadatak ovog master rada je da se istraže mogućnosti upotrebe virtuelne stvarnosti (VR - Virtual Reality) za obuku radnika i za nadzor i upravljanje mašinom sa udaljene lokacije i da se napravi 3D verzija jedne mašine. U prvoj varijanti upotrebe VR bi mogao obezbediti nadgledanje rada mašine u realnom okruženju od strane operatera ili servisera koji je u tom trenutku udaljen od mesta gde se mašina nalazi, a u drugoj varijanti bi virtualna slika mašine mogla da bude korištena prilikom obuka za korišćenje mašine. Stručna osoba bi na ovaj način mogla da izvrši uvid u realno stanje mašine, da odabere deo mašine koje ga interesuje, da pozove i pogleda tehničku dokumentaciju za datu mašinu, ili da samostalno istestira mašinu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Laslo Tarjan, docent.

Cilj ovog rada jeste i da se proverí da li doživljaj korisnika može da bude kao da je u stvarnim okolnostima, ili ova iluzija još uvek nije moguća.

Potreba za virtuelnim servisiranjem i nadgledanjem rada mašine je nastala zbog problema učestalih potreba za uključivanjem serviserá proizvođača prilikom neplaniranih servisa (havarije, greške, itd.), naročito kod mašina stranog porekla gde servisna ekipa dolazi iz druge države ili sa drugog kontinenta, što povećava vreme odziva a i troškove takvog održavanja. Pristupanje mašini uz korišćenje VR omogućio bi efikasnije korišćenje ljudskih resursa u mreži serviserá i na ovaj način bi se povećao odziv serviserá iz inostranstva, pa bi i cena koštanja bila manja što zbog brže intervencije to zbog jeftinijih „izlazaka na teren“ jer bi se naplaćivao samo koristan rad stručne osobe a ne i putni troškovi, a samim tim bi se i zauzetost stručne osobe smanjila. Ideja je da se kontaktira mreža serviserá, i oni iz svoje kancelarije uz pomoć VR naočara pristupe mašini, kao da su pored nje, i pokušaju da upravljaju mašinom, ustanove kvar, i na kraju reše kvar.

2. INDUSTRIJA 4.0

Posle prve tri industrijske revolucije (parna mašina, pojava struje, pojava kompjuterizovanih sistema) trenutno živimo vek četvrte industrijske revolucije. Ovo znači novi pristup proizvodnim sistemima u vidu rukovanja materijalom, praćenje pojedinačnih proizvoda, vid sastavljanje proizvodne linije [1].

Pojava novih proizvođača robotskih manipulatora donosi sa sobom smanjenje cena tih manipulatora. Posledica ove pojave je veći nivo automatizacije unutar proizvodnih sistema što omogućava brži i efektivniji razvoj industrijskih sistema za rukovanje materijalom. Više nije neophodno instalirati veći broj manipulatora ukoliko se želi razdeliti jedna proizvodna linija u više linija, već se adekvatnim načinom prepoznavanja određenih vrsta sirovina uz pomoć jedne robotske ruke može obaviti zahtevani posao. Primenom novog načina upotrebe i organizacije resursa smanjuje se potreba za angažovanjem običnih radnika (koji obavljaju proste monotone poslove) na proizvodnoj liniji [2], koji se prekvalifikuju u radnike za nadzor rada mašine i povećava se potreba za većim brojem radnika za održavanje mašine koji imaju sve manje vremena za rešavanje ne planiranih havarija, jer se brzina i kapacitet proizvodnje povećava.

Sve veći akcenat se stavlja na preventivno održavanje, da bi se neplanirani prekidi izbegli. Optimizacija i reorganizacija proizvodnih linija, u cilju lakšeg rukovanja materijalom, dovela je do pojave fleksibilnije automatizacije i organizacije proizvodnje, gde linije nisu tako krute kao pre, već imaju mogućnosti zamene toka i načina funkcio-

nisanja, kao i mogućnost korišćenja iste mašine za proizvodnju više vrsta proizvoda, čak i iste mašine na različitim pozicijama u proizvodnji. Prednosti navedenog su da su ovakvi sistemi u svetu moćniji i imaju više potencijala za dalji razvoj, jer nude veći broj raspoloživih alata. Mora se uzeti u obzir i to da jako često ovo prouzrokuje i probleme, pošto zahteva posebno obučeni kadar, i često je sistem mnogo komplikovaniji nego što je to slučaj kod ranijih sistema, kada se radilo sa jednim namenskim uređajem za određeni zadatak.

Mora se napomenuti da ukoliko sistem radi na način za koji je projektovan, od ovakvih sistema može da se dobije mnogo više podataka o stanju mašine u odnosu na starije tipove sistema. Ova količina podataka daje mogućnost korišćenja novih alata za nadgledanje sistema. Kao jedan segment SCADA sistema u eri industrije 4.0 se sve više koristi i proširena realnost (AR – eng. augmented reality). Upotreba ovih alata je sve više zastupljena kod svetski priznatih brendova industrijske opreme.

Ove kompanije nude rešenja gde se AR koristi za projektovanje i prikaz budućih linija u toku projektovanja proizvodnih linija, ali i u procesima za obuku radnika ali i za kontinualni rad u pogonu. U kompaniji Festo, prilikom procesa montaže, radnik koristi AR naočare i pogledom na etiketu na kutijama oko sebe odmah dobija sve potrebne informacije o sadržaju te kutije, kao i pomoć pri sklapanju toga [3]. Kompleksnost ovakvog sistema čini i način komunikacije između pojedinačnih delova.

Koncept uključuje kiber-fizičke sisteme (CPS), Internet stvari (IoT), Internet usluga (IoS) i rad u oblaku. Industrija 4.0 takođe uključuje pojam modularno strukturisane pametne fabrike, gde sajber-fizički sistemi nadgledaju fizičke procese, kreiraju virtualnu kopiju fizičkog sveta i donose decentralizovane odluke. Preko Interneta stvari, kiber-fizički sistemi komuniciraju i sarađuju jedni s drugima i sa ljudima u realnom vremenu. Sve to moguće preko industrijske standardne protokole kao što su komunikacija na otvorenoj platformi - objedinjena arhitektura (OPC-UA) [4] i vremenska osetljiva mreža (TSN) [5].

OPC UA je mašina-za-mašinu komunikacioni protokol za razvoj industrijske automatizacije od fondacije OPC. Cilj OPC UA komunikacije da pokaže novi put od originalnog OPC komunikacije što je bio namenjen samo za Microsoft Windows aplikacije [4].

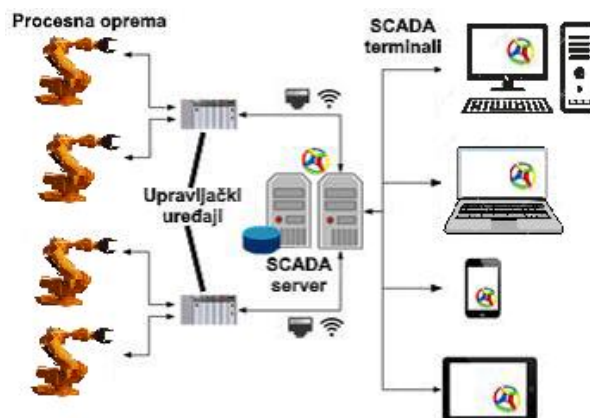
Novi pogled podržava funkcija starog modela kao što su pristup podacima, alarmi, događaji, kao i istorijski pristup podacima. Novi protokol daje osnovu za TCP/IP komunikaciju. Čvorovi i relacije između delovi modela su objektno orijentisani [4]. Vremenski osetljiva mreža (TSN) je skup standarda u fazi razvoja TSN radne grupe koji je deo IEEE 802.1 radne grupe. TSN radna grupa je osnovana u novembru 2012. godine preimenovanjem postojeće radne grupe za povezivanje audio/video zapisa, i u ovom novom obliku nastavlja svoj rad. Ime se promenilo zbog proširenja radnog područja grupe za standardizaciju. Standardi definišu mehanizme za vremenski osetljiv prenos podataka preko ethernet mreža [5].

2.1. SCADA sistemi

Razvoj industrijskih sistema doveo je do povećanja broja senzora i aktuatora u pojedinačnim delovima proizvodnje. SCADA sistemi su nastali kao odgovor za potrebu nadzora i upravljanje nad tim složenijim sistemima. SCADA

sistemi predstavljaju sisteme zadužene za prikupljanje i analizu podataka o nekom posmatranom upravljanim sistemu, za nadzor i za upravljanje [6]. Složeniji sistemi mogu biti sastavljeni od više podsistema između kojih rastojanje može biti od nekoliko metara do nekoliko hiljada kilometara. Za međusobnu komunikaciju se koristi telemetrija koja omogućava slanje naredbi i informacije kao i primanje informacije od udaljenog sistema [7].

SCADA služi za prikaz prikupljenih informacija SCADA operaterima na različitim medijumima za prikaz podataka, za prikupljanje informacija o upravljanim objektima, za analizu tih prikupljenih informacija, za upravljanje objektima upravljanja. Pri obradi vraćaju se nazad potrebne upravljačke informacije o postrojenju. Na slici 1 vidi se pojednostavljena šema SCADA sistema [8].



Slika 1. Pojednostavljena šema SCADA sistema

SCADA sistem se sastoji od hardvera i od softvera. Hardverski deo sistema u suštini obuhvata sve što je potrebno instalirati u postrojenju sa ciljem ostvarivanja nadzora i upravljanja proizvodnjom (senzori, SCADA računar i terminal, žica za umrežavanje sistema, itd). Na osnovu prikupljenih senzorskih informacija o postrojenju PLC analizira stanja i u zavisnosti od dobijenih podataka donosi odluku o upravljanju aktuatorima [9, 10].

Takođe prikupljeni podatak PLC prosleđuje glavnom računaru pomoću raznovrsnih komunikacionih mreža. Primeri analognih vrednosti koje se nadziru u okviru SCADA sistema su: temperatura, nivo, protok fluida, pritisak i brzine rotacija vratila motora i drugo.

Digitalne vrednosti koje SCADA sistem nadzire su vrednosti kao npr. aktiviranost: senzora nivoa, senzora pritiska i releja.

2.2. Digitalni blizanac i kiber-fizički sistemi

Sajber-fizički sistem (CPS) i digitalni blizanac (DT - Digital Twin) dele isti cilj, da uspešno realizuju neometanu konekciju između realnog i sajber sveta. CPS pruža integrisani i kompatibilni okvir sa sveobuhvatnom perspektivom, a DT se može smatrati njegovom usredsređenom primenom.

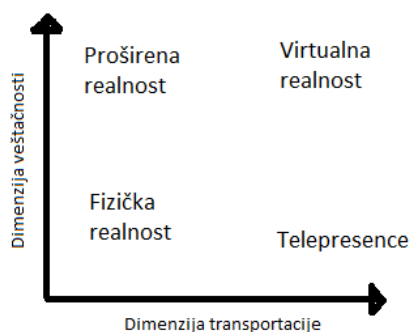
DT nosi karakteristike CPS-a, kao što su ciber-fizičko mapiranje, kontrola zatvorene petlje i struktura na tri nivoa, dok njegovi elementi mogu dodatno poboljšati sajber – fizičku integraciju zasnovanu na CPS-u. Internet stvari (IoT) se primenjuje na framework da bi se ostvarile veze unutar i širom fizičkog i sajber sveta, i na taj način bude svaki element međusobno povezan [11].

Digitalni blizanci su inicijalno razvijeni u cilju poboljšanja procesa proizvodnje. DT su definisani kao digitalna replika živih i beživotnih entiteta koji omogućavaju neometan prenos informacija između realnog i sajber sveta. DT objektom omogućava nadzor, razumevanje i optimizaciju funkcija svih fizičkih entiteta i za korisnika pruža neprekidnu povratnu informaciju za poboljšanje kvaliteta života [12]. Sajber - fizički sistem (CPS) je računarski sistem u kojem se mehanizmom upravlja ili nadgleda pomoću računarskih algoritama.

U sajber-fizičkim sistemima fizičke i softverske komponente su duboko povezane, sposobne da međusobno komuniciraju na načine koji se menjaju od situacije do situacije [13]. Primeri CPS-a uključuju pametnu mrežu, autonomne automobilske sisteme, medicinsko nadgledanje, industrijske sisteme upravljanja, sisteme robotike i automatsku pilot letelicu [14].

3. RAZLIKA IZMEĐU PROŠIRENE I VIRTUELNE REALNOSTI

Na kontinualnu stvarnost-virtuelnost AR je jedan deo opšteg područja mešovite stvarnosti. U oba virtuelna okruženja (i virtuelna realnost i proširena realnost) realno okruženje se zameni sa virtuelnim ili se doda nešto na realnu sliku [15]. Mora da se napomene da AR pruža lokalnu virtuelnost. Kada se uzima u obzir ne samo veštačnost već i transformacija korisnika, AR se klasifikuje kao odvojena i od VR i od teleprisutnosti (*slika 2.*), jer se u slučaju AR može govoriti o prisustvu korisnika u pravom fizičkom smislu, sa pridodatim virtuelnim elementima, a kod ostalih slučajeva se korisnik uz pomoć nekog tehničkog dodatka transformiše (u psihičkom smislu) u virtuelni svet.



Slika 2. Raspodela prema transportu korisnika i nivo veštačnosti oprema

3.1. Koncept proširene realnosti

Sistem proširene realnosti (AR) kombinuje stvarne i virtuelne objekte u stvarnom okruženju, međusobno registruje (poravnava) stvarne i virtuelne objekte, radi interaktivno, u tri dimenzije i u realnom vremenu. Tri aspekta ove definicije je važno napomenuti. Prvo, nije ograničen na određene tehnologije prikaza kao što je ekran na glavi (HMD), niti je po definiciji ograničena samo na čulo vida. AR može i potencijalno želi da se primeni na sva čula, uključujući sluh, dodir i miris. Konačno, uklanjanje stvarnih objekata prekrivanjem virtuelnim objektima, pristupi poznatiji kao posredovana ili umanjena stvarnost (eng: mediated or diminished reality), takođe su segment pametne (eng: smart) AR [15].

3.2. Koncept virtuelne realnosti

Prvo treba da se razjasni funkcionalnost VR-a. Radi se o simulaciji u kojem se koristi grafički modul kompjutera da bi se realizovao realističan izgled virtuelnog sveta. Štaviše, sintetizovani svet nije statičan, nego reaguje na korisnikove komande (gestikulacija, audio komande, itd). Ovo definiše ključno svojstvo virtuelne realnosti, što čini interakciju u realnom vremenu. U ovom slučaju realno vreme znači da kompjuter ima mogućnost da prepozna jednu korisnikovu komandu, i da u sledećem trenutku modifikuje virtuelni svet. Ljudi vole da vide promene na ekranu u zavisnosti od njihovih komanda, i postaju opčinjeni sa ovom simulacijom.

Trougao virtuelne realnosti grade tri pojma, a to su: potapanje – immersion, interakcija – interaction, mašta – imagination. Ovaj trougao se referira kao I³ [16]. Za razliku od proširene realnosti, virtuelna realnost stvara potpuno digitalno iskustvo koje može ili simulirati ili u potpunosti odvajati od stvarnog sveta. Izraz virtuelna realnost odnosi se na računarski generisano trodimenzionalno okruženje.

Da biste doživeli virtuelnu realnost i stupili u interakciju sa njom, biće vam potrebna odgovarajuća oprema, poput VR naočara i/ili slušalica. Ova tehnologija je korišćena da kreira potapajuće iskustvo koji može da se koristi npr. u edukaciji ili čak u zabavi. Izvan popularnih načina korišćenja kao što je gejming industrija, virtuelna realnost je apliciran u raznovrsnoj industriji, medicini, arhitekturi, vojnoj industriji i tako dalje [17].

4. REALIZACIJA MODELA

Zadatak realizacije sistema virtuelne realnosti za neki postojeći fizički sistem se sastoji iz tri dela, izrada CAD modela objekta i okoline (mašine i okoline), kreiranje programa, način komunikacije između objekta (mašine) i programa. Prvi korak realizacije virtuelne mašine jeste izrada CAD model koji je u ovom radu izrađen u Auto-deskovom alatu, Inventor 2018 koji se sastoji iz više sklopova. Plan je bio da se kreira veza između pojedinih delova mašine u Inventoru i da se sačuva ta veza, i tako se uveže u Unreal Engine-u. Na žalost formati koji su podržani sa strane Inventora nisu prihvatljivi programu Unreal Engine-u tako da je bilo potrebno da se koristi i 3D MAX kao program za formatiranje ekstenzije modela. Nakon uspešnog formatiranja model je bio spreman za prikaz u finalnom programu. Za generisanje i prikaz različitih modela u virtuelnom svetu se najčešće koristi Unity ili Unreal Engine. I Unity i Unreal imaju svoje prednosti i mane, ali zbog lakšeg korisničkog interfejsa za dalji rad odabran je Unreal Engine.

Najveći broj korisnika ovaj alat koristi za pravljenje video igrice, što olakšava savladavanje osnova rada u ovom alatu jer se po internetu nalazi jako puno pomoćnog video materijala, i postoji razvijena tehnička podrška, što je dobro došlo prilikom izrade ovog rada.

Cilj je bio da se pomoću ovog programa napravi jedna aplikacija koja zauzima malo prostora i može da se koristi na različitim računarima. Prvobitna ideja za komunikaciju između realne mašine i programa bila je da se koristi jedan API (programski interfejs aplikacije) koji piše pa čita iz HTML koda. Međutim lista API-a koji mogu da

služe kao izvorni interfejs za prenos podataka je jako kratak, ili se plaća, pa je ideja odbačena.

Korišćenje baze podataka se nadmetnulo kao sledeće moguće rešenje. Po literaturi za Unreal Engine se dosta pominje „NoSQL“ baza, kao dobro rešenje za sopstvene potrebe jer je besplatan alat i što je jako bitno ima direktnu implementaciju u odabranom programu za prikaz u VR-u. Pošto Unreal Engine 4 ima ugrađene metoda za komunikaciju sa Google-ovim Firebase bazom podata, ova opcija se učinila kao najjednostavnija, jer ne zahteva instalaciju u konfiguraciju sopstvenog servera, što za potrebu rada na ovom radu nije bilo ključno.

Naravno, u slučaju monitoringa većeg broja parametara vredi razmišljati i o sopstvenom serveru, sa stručnim održavanjem. Firebase je Google servis za IoT mobilne platforme, koja pomaže brzi razvoj visokokvalitetnih aplikacija koji zahtevaju servise baze podataka i oblak (eng. cloud) servise. Komunikacija realne mašine sa programom VR je zamišljena pomoću sinhronizacije praćenih promenljivih sa PLC-a Siemens S7-1200 (čitanje OPC servera) preko Firebase baze podataka.

5. ZAKLJUČAK

Obuka radnika bi bila jedna od najvećih prednosti korišćenja VR sistema u industrijskom okruženju. Jeste da sistem zahteva ozbiljniju opremu od AR naočare, ali sadrži u sebi i više mogućnosti, tako da upotrebom haptičke opreme simulacija može biti još realnija. U radu opisani koncept korišćenja VR mogao bi da se primeni u kompanijama koje obraćaju posebnu pažnju na obuku radnika na radnom mestu, jer je pretpostavka da ovakav način obuke znatno može ubrzati vreme trajanja obuke, što olakšava zapošljavanje ili promenu radnog kadra.

Kao bitna namena ovakvog sistema bi bila i uključivanje radnika održavanje ili serviseru sa udaljenog mesta. Pomoću VR naočara u bilo kom trenutku bilo ko, sa odgovarajućim kvalifikacijama, mogao bi da vrši nadgledanje sistema. U ovom virtuelnom okruženju nadzor bi mogao odmah sa mesta nadgledanja da „šeta“ do mašine odakle bi mogao u realnom vremenu da dobija informacije sa različitih senzora kao što je temperatura, brzina kretanja, broj ciklusa, ali i o stanju sistema kao što su različiti statusi, upozorenja i alarmi. Naravno ovo rešenje nikad neće moći da zameni potrebu radnika na licu mesta, bar sve dok industrijski roboti ne budu do te mere bili autonomni da u potpunosti samostalno rešavaju svoje zastoje i kvarove.

Kao dodatni deo VR okruženja, mogle bi se odraditi dodatne realistične simulacije različitih neočekivanih situacija na datom radnom mestu kao što su: način gašenja mašina u slučaju nezgode, simulacija rada mašine u neodgovarajućim okolnostima, ili simulacija kvara mašine, što radnicima na mašini može dati dodatnu pomoć u održanju mira u trenutku nezgode na mašini, jer lakše mogu dobiti stručnu pomoć sa strane, što u kriznim vremenima može da sačuva, čak i život nesrećnog radnika.

6. LITERATURA

- [1] M. L. Egyesület: „Ipari forradalmak“ Dostupno: <https://bit.ly/3l81PJa> . [Pristup 20. sept 2020.].
- [2] E. G. Popkova i ostali, Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial

Revolutions, pp 21-29, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia: Springer International Publishing AG, 2019.

[3] I. Tsmots i ostali, „Use of Augmented Reality Technology to Develop an,“ 2019. Dostupno: <https://bit.ly/3l4kndg> [Pristup 17 sept 2020].

[4] P. Marcon i ostali, Communication technology for industry 4.0, St. Petersburg, Russia: IEEE, 2017.

[5] F. Zerkulka i ostali, „Communication Systems for Industry 4.0 and the IIoT,“ u IFAC PapersOnLine 51-6, pg 150–155, www.sciencedirect.com, 2018.

[6] W. Salter, A. Daneels, „What Is Scada ?“, Italy 1999. Dostupno: <https://bit.ly/2SpqFYM> [Pristup 5. sept 2020].

[7] E. S. a. A. B. B. Totalflow, „Scada and telemetry in gas transmission systems,“ ABB White Pap., 2007.

[8] Ecava IntegraXor: „What is SCADA? <https://bit.ly/3cZSgJp> [Pristup 2. sept 2020].

[9] H. Wang, J. Xie, Y. Zeng, and X. Bai, „The Design of PLC-based Process Control Systems [J],“ Tech. Autom. Appl, 2004, pp. 8.

[10] M. Ogawa, Y. Henmi, „Recent developments on PC+ PLC based control systems for Beer Brewery Process Automation Applications,“ SICE-ICASE, International Joint Conference, 2006, pp. 1053-1056.

[11] F. Tao, M. Zhang, A.Y.C. Nee, „Digital Twin, Cyber-Physical System, and Internet of Things,“ u Digital Twin Driven Smart Manufacturing, Academic Press, 2019, pp. 243-256.

[12] A. El, Saddik, „Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies,“ IEEE MultiMedia, IEEE, 2018, pp. 87 - 92.

[13] US National Science Foundation, „Cyber-Physical Systems (CPS),“ 2012. Dostupno: <https://bit.ly/3cXXs0h> [Pristup 21. sept 2020].

[14] S. Khaitan, Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, IEEE Systems Journal, 2015.

[15] R. Poelman, D. W. F. Van Krevelen, A survey of augmented reality technologies, applications and limitations, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands: The International Journal of Virtual Reality, 2010.

[16] P. C. Grigore C. Burdea, Virtual Reality Technology, University of Versailles, France: John Wiley & Sons, 2003.

[17] K. Patel, J. N. Bailenson, The Effects of Fully Immersive Virtual Reality on the Learning of Physical Tasks, University of California at Berkeley, California, 2006.

Kratka biografija:



Arpad Pletikosić rođen je u Subotici 1996. god. Završio gimnaziju 2015 god. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike 2019 god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike odbranio je 2020.god.

kontakt: pletarpad96@gmail.com

U realizaciji Zbornika radova Fakulteta tehničkih nauka u toku 2020. godine učestvovali su sledeći recenzenti:

Aco Antić	Đorđe Lađinović	Milan Mirković	Slobodan Krnjetin
Aleksandar Erdeljan	Đorđe Obradović	Milan Rapajić	Slobodan Morača
Aleksandar Kovačević	Đorđe Vukelić	Milan Segedinac	Sonja Ristić
Aleksandar	Đula Fabian	Milan Simeunović	Srđan Kolaković
Kupusinac	Đura Oros	Milan Trifković	Srđan Popov
Aleksandar Ristić	Đurđica Stojanović	Milan Trivunić	Srđan Vukmirović
Bato Kamberović	Filip Kulić	Milan Vidaković	Staniša Dautović
Biljana Njegovan	Goran Sladić	Milena Krklješ	Stevan Gostojić
Bogdan Kuzmanović	Goran Švenda	Milica Kostreš	Stevan Milisavljević
Bojan Batinić	Gordana	Milica Miličić	Stevan Stankovski
Bojan Lalić	Milosavljević	Mijodrag Milošević	Strahil Gušavac
Bojan Tepavčević	Gordana Ostojić	Milovan Lazarević	Svetlana Bačkalić
Bojana Beronja	Igor Budak	Miodrag Hadžistević	Svetlana Nikoličić
Branislav Atlagić	Igor Dejanović	Miodrag Zuković	Tanja Kočetov
Branislav Nerandžić	Igor Karlović	Mirjana Damnjanović	Tatjana Lončar -
Branka Nakomčić	Igor Peško	Mirjana Malešev	Turukalo
Branko Milosavljević	Ivan Beker	Miroslava Radeka	Uroš Nedeljković
Branko Škorić	Igor Maraš	Mirko Borisov	Valentina Basarić
Damir Đaković	Ivan Mezei	Miro Govedarica	Velimir Čongradec
Danijela Ćirić	Ivan Todorović	Miroslav Hajduković	Veran Vasić
Danijela Gračanin	Ivana Katić	Miroslav Kljajić	Veselin Perović
Danijela Lalić	Ivana Kovačić	Miroslav Popović	Višnja Žugić
Darko Čapko	Ivana Maraš	Miroslav Zarić	Vladimir Katić
Darko Marčetić	Ivana Miškeljin	Mitar Jocanović	Vladimir Mučenski
Darko Reba	Jasmina Dražić	Mitar Đogo	Vladimir Strezoski
Dejan Ecet	Jelena Atanacković	Mladen Kovačević	Vlado Delić
Dejan Jerkan	Jeličić	Mladen Tomić	Vlastimir Radonjanin
Dejan Ubavin	Jelena Borocki	Mladen Radišić	Vojin Ilić
Dejana Nedučin	Jelena Demko Rihter	Nebojša Brkljač	Vuk Bogdanović
Dragan Ivanović	Jelena Radonić	Neda Milić Keresteš	Zdravko Tešić
Dragan Jovanović	Jelena Slivka	Nemanja	Zoran Anišić
Dragan Ivetić	Jelena Spajić	Stanisavljević	Zoran Brujić
Dragan Jovanović	Jovan Petrović	Nemanja Sremčev	Zoran Čepić
Dragan Kukolj	Jovanka Pantović	Nikola Đurić	Zoran Jeličić
Dragan Mrkšić	Laslo Nađ	Nikola Jorgovanović	Zoran Mitrović
Dragan Pejić	Lazar Kovačević	Nikola Radaković	Zoran Papić
Dragan Šešlija	Leposava Grubić	Ninoslav Zuber	Željen Trpovski
Dragana Bajić	Nešić	Ognjen Lužanin	Željko Jakšić
Dragana	Livija Cvetičanin	Pavel Kovač	
Konstantinović	Ljiljana Vukajlov	Peđa Atanasković	
Dragana Šarac	Ljiljana Cvetković	Petar Malešev	
Dragana Štrbac	Ljubica Duđak	Platon Sovilj	
Dragoljub Šević	Maja Turk Sekulić	Predrag Šidžanin	
Dubravka Bojanić	Marinko Maslarić	Radivoje Dinulović	
Dušan Dobromirov	Marko Marković	Radomir Kojić	
Dušan Gvozdenac	Marko Todorov	Radovan Štulić	
Dušan Kovačević	Marko Vekić	Relja Strezoski	
Dušan Uzelac	Maša Bukurov	Slavica Mitrović	
Duško Bekut	Matija Stipić	Slavko Đurić	
Đorđe Ćosić	Milan Čeliković	Slobodan Dudić	

