



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке – зборници

Година: XL

Број: 10/2025

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“

Година: XL Свеска: 10

Издавач: Факултет техничких наука Нови Сад

Главни и одговорни уредник Едиције: проф. др Борис Думнић, декан Факултета техничких наука у Новом Саду

Уређивачки одбор

Проф. др Марко Векић, главни уредник

Сара Копривица, заменик главног уредника

Штампање одобрио: Савет за библиотечку и издавачку делатност ФТН, председник, проф. др Селена Самарџић Цвијановић

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

СР-Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

378.9(497.113)(082)

62

ЗБОРНИК радова Факултета техничких наука / главни и одговорни уредник
Борис Думнић. – 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 осма 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».

Наставно-научно веће ФТН-а је 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-страници Факултета техничких наука (www.ftn.uns.ac.rs) и штампаном, који је пред вама. Обе верзије публикују се сваки месец, у оквиру промоције дипломираних мастера.

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

У свесци са редним бројем 8, објављени су радови из области графичког инжењерства и дизајна, индустријског инжењерства и менаџмента и инжењерства заштите животне средине.

Континуираним радом и унапређењем квалитета часописа, план је да часопис постане препознатљив међу ауторима, чиме ће значајно допринети да се оствари мото Факултета техничких наука:

„Високо место у друштву најбољих“

Уредништво

Садржај

Машињство

Стефан Јовановић, Мирослав Кљајић ПРИМЕНА ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ ВАЗДУХ-ВОДА ПРИ ЕНЕРГЕТСКОЈ САНАЦИЈИ И РЕКОНСТРУКЦИЈИ ОСНОВНЕ ШКОЛЕ „АЛЕКСА ШАНТИЋ“ У ГАЈДОБРИ	927 - 930
Luka Janeš PRIMENA BIOMASE U SISTEMIMA DALJINSKOG GREJANJA - PRIMER REALIZACIJE PROJEKTA U TOPLANI U MAJDANPEKU	931 - 934
Gordan Grozdanić ISKORIŠĆENJE OTPADNE TOPLOTE U DATA CENTRIMA UPOTREBOM TOPLOTNE PUMPE	935 - 938
Mina Solaković, Igor Mujan ENERGETSKA ANALIZA REKONSTRUKCIJE LEDENE DVORANE SPORTSKOG I POSLOVNOG CENTRA VOJVODINA	939 - 942

Електротехника и рачунарство

Stefan Apostolović CURRICULUMDSL - ЈСД ЗА ОПИС НАСТАВНИХ ПЛАНОВА И ПРОГРАМА	943 - 946
Milica Milošević PRIVATNE MOBILNE MREŽE I PRIMENE	947 - 950
Sanja Drinić VIZUALIZACIJA CSV FAJLOVA BAZIRANA NA AWS SERVERLESS PLATFORMI	951 - 954
Jovica Josipović ILUSTRACIJA PRIMENE AZURE PLATFORME I BICER JEZIKA NA PRIMERU APLIKACIJE ZA PLANIRANJE VREMENA I KREIRANJE IZVEŠTAJA	955 - 958
Милош Окановић ИЗРАДА НАПРЕДНОГ ETHERNET АДАПТЕРА ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ И ПРИКЉУЧЕЊЕ ЕЛЕКТРОНСКИХ СИСТЕМА НА LAN МРЕЖУ	959 - 962
Miljana Naumov, Dejan Jerkan UTICAJ ZASIĆENJA NA INDUKTIVNOSTI SINHRONE MAŠINE SA STALNIM MAGNETIMA	963 - 966
Марк Ристић СТЕГОАНАЛИЗА АУДИО ЗАПИСА	967 - 970
Aleksandar Bjelobaba PRIMENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U FARMACEUTSKIM LANCIMA SNABDEVANJA	971 - 974
Сања Бјелић МЈЕРНО - УПРАВЉАЧКИ МОДУЛИ КОЧИОНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА	975 - 978
Драгана Драшковић БИДИРЕКЦИОНА ОПТИЧКА КОМУНИКАЦИЈА КРОЗ ЈЕДНО ОПТИЧКО ВЛАКНО	979 - 982

Тамара Драшковић ТЕРМИЧКА СТАБИЛНОСТ И ПЕРФОРМАНСЕ МУЛТИМОДНИХ ПЛАСТИЧНИХ ОПТИЧКИХ ВЛАКАНА СА ЗАРЕЗИМА	983 - 986
Luka Mladenović PRIMENA TEHNIKA MAŠINSKOG UČENJA NA PROBLEM KLASIFIKACIJE RAZLIČITIH SCENARIJA BOTNET NAPADA	987 - 990
Bojana Tekić KOMPARATIVNA ANALIZA KORISNIČKOG ISKUSTVA U RADU SA ČET-DŽI-PI-TI I MAJKROSOFT KOPILOT ALATIMA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE	991 - 995
Kristina Orolić PRODUKCIJSKA PRIMENA KUBERNETISA U AMAZON VEB SERVISIMA	996 - 999
Алексеј Товиловић, Лука Стрезоски ОПТИМИЗАЦИЈА РАДА МИКРОМПРЕЖЕ КОРИСТЕЊИ ФЛЕКСИБИЛНОСТ ДИСТРИБУИРАНИХ ЕНЕРГЕТСКИХ РЕСУРСА	1000 - 1004
Николина Тошић ПРИМЕНА IN-TOTO ПЛАТФОРМЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ СОФТВЕРСКИХ ЛАНАЦА ИСПОРУКЕ	1005 - 1008
Milica Popović OPTIMIZACIJA SEČENJA DVODIMENZIONALNIH ELEMENATA PRIMENOM EVOLUTIVNIH ALGORITAMA	1009 - 1012
Стефан Драгичевић, Јелена Сливка ДИГИТАЛНИ АСИСТЕНТ ЗА ОДГОВАРАЊЕ НА ПИТАЊА У ДОМЕНУ ОСИГУРАЊА	1013 - 1016
Nataša Šćekić RAZVOJ VEB-APLIKACIJE ZA DRUŠTVENU INTERAKCIJU S INTEGRACIJOM EKSTERNOG SISTEMA ZA PLAĆANJE	1017 - 1020
Sara Sinjeri JEZIK SPECIFIČAN ZA DOMEN INTERAKTIVNIH PRIČA	1021 - 1024
Игор Мандарић УПОРЕДНО ИСПИТИВАЊЕ И КОМБИНОВАЊЕ МЕТАХЕУРИСТИЧКИХ АЛГОРИТАМА У ПРОБЛЕМУ НАЛАЖЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈЕ ПУТАЊЕ	1025 - 1028
Nikolina Gašić DIGITALNA FORENZIKA DRUŠTVENIH MREŽA	1029 - 1032
Лука Бјелица ИНТЕРНИ ЈЕЗИК ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ПРОЦЕСА РАЗВОЈА СИСТЕМА СА МИКРОСЕРВИСНОМ АРХИТЕКТУРОМ	1033 - 1036
Nataša Gavrilović PRIMENA RANDOM FOREST ALGORTIMA U PROGNOZI BRZINE VETRA I PROFITA VETROGENERATORA	1037 - 1040
Žofia Galac MODELIRANJE I UPRAVLJANJE SISTEMOM SA INVERZNIM KLATNOM NA KOLICIMA	1041 - 1044

Биомедицинско инжењерство

- Doroteja Majstorović 1045 - 1048
**IMPLEMENTACIJA ALGORITMA ZA PROCENU MORFOLOŠKIH
PROMENA GRUDNOG KOŠA KOD DECE SA CEREBRALNOM
PARALIZOM KORIŠĆENJEM 3D KAMERA**

Грађевинарство

- Момчило Братић, Слободан Шупић 1049 - 1052
**САВРЕМЕНИ КОМПОЗИТИ ЗА ЗИДАЊЕ СА КЕРАМИЧКИМ
ПРАХОМ**
- Владимир Тошић, Игор Пешко 1053 - 1057
**МОДЕРНИЗАЦИЈА И УБРЗАЊЕ ПРОЈЕКТОВАЊА У
САВРЕМЕНОМ ДОБУ**
- Сара Крсмановић 1058 - 1060
**ГЕОТЕХНИЧКИ АСПЕКТИ ПРОЈЕКТОВАЊА КОЛОВОЗНЕ
КОНСТРУКЦИЈЕ ПОЛЕТНО-СЛЕТНЕ СТАЗЕ СПОРТСКОГ
АЕРОДРОМА ВЕЛИКИ РАДИНЦИ**
- Јована Никачев, Ђорђе Јовановић, Тања Перчић 1061 - 1064
**ПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ ЧЕЛИЧНИХ
РАМОВА ПРИМЕНОМ СОФТВЕРА ABAQUS**

Саобраћај и транспорт

- Teodora Tomić 1065 - 1068
PRIMENA INTELIGENTNIH PAKOVANJA U LOGISTICI
- Bojana Savić 1069 - 1072
**PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE ZA UNAPREĐENJE
BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA**

Графичко инжењерство и дизајн

- Ksenija Tubić, Bojan Banjanin 1073 - 1076
**KREIRANJE ULTIMATIVNOG ANTAGONISTE U CRTANIM
FILMOVIMA**
- Тијана Баварчић, Бојан Бањанин 1077 - 1080
ИНТЕРПОЛАЦИЈА У СОФТВЕРИМА ЗА АНИМАЦИЈУ
- Sanja Cvetojević, Sandra Dedijer 1081 - 1084
**ANALIZA UTICAJA BOJE NA IZBOR PROIZVODA ORGANSKE
KOZMETIKE PRI ONLINE KUPOVINI**

ПРИМЕНА ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ ВАЗДУХ-ВОДА ПРИ ЕНЕРГЕТСКОЈ САНАЦИЈИ И РЕКОНСТРУКЦИЈИ ОСНОВНЕ ШКОЛЕ „АЛЕКСА ШАНТИЋ“ У ГАЈДОБРИ

APPLICATION OF THE AIR-WATER HEAT PUMP DURING THE ENERGY REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF THE ELEMENTARY SCHOOL "ALEKSA ŠANTIĆ" IN GAJDOBRA

Стефан Јовановић, Мирослав Кљајић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област- МАШИНСТВО

Кратак садржај– Мастер радом је обухваћен теориски део за радијаторско грејање, подно грејање, топлотна пумпа и котао на пелет. Урађена су два техничка решења за потребе грејање основне школе Алекса Шантић у Гајдобри. Прво техничко решење које је постојеће се састоји од радијаторско грејања са топлотним извором котао на пелет. Друго техничко решење је подно грејање са избором топлотна пумпа. Циљ мастер рада је доказивање унапређење постојећег систем, и доказ бољег и квалитетнијег решења.

Кључне речи: радијаторско и подно грејање, топлотна пумпа, котао на пелет.

Abstract - The master thesis includes the theoretical part for radiator heating, underfloor heating, heat pump and pellet boiler. Two technical solutions were made for the heating needs of the Aleksa Šantić elementary school in Gajdobra. The first existing technical solution consists of radiator heating with a pellet boiler heat source. Another technical solution is underfloor heating with the option of a heat pump. The goal of the master thesis is to prove the improvement of the existing system, and to prove a better and better solution.

Keywords: Radiator and underfloor heating, heat pump, pellet boiler

1. УВОД

Предмет мастер рада је енергетска санација, адаптација и реконструкција Основне школе „Алекса Шантић“ у Гајдобри. Унапређење система грејања како би се спроведеним мерама обезбедили оптимални услови за боравак корисника, повећан комфор али и енергетске и економске уштеде.

У Основној школи „Алекса Шантић“ тренутна инсталација грејања је радијаторски двоцевни систем, где је извор енергије котао на пелет топлотног капацитета 200кW. Потребно је променити целу инсталацију грејања на подно грејање чији ће извор бити топлотна пумпа ваздух-вода.

НАПОМЕНА:

Овај рад је произтекао из мастер рада чији је ментор био ванр. проф. мр Мирослав Кљајић

2. ГРЕЈНА ТЕЛА

Грејна тела представљају један од основних елемената постројења за системе грејања. Задатак грејног тела је да просторији преда одређену количину топлоте, која је једнака тренутним губицима топлоте. Топлота која се производи у котлу, системом цеви се разводи до просторија, а грејно тело затим доведено топлоту предаје просторији.

Подно грејање су грејна тела састављена од неоребрених цевних змија, које се постављају у грађевинску конструкцију просторије. Цеви се могу поставити слободно у подној плочи (око њих је мањи слој ваздуха који се згрева) или уливане у бетон. Уколико се цеви панела уливају у бетон важно је да коефицијент температурног ширења цеви и бетона буде приближно исти, како не би долазило до пуцања грађевинске конструкције и самих цеви.

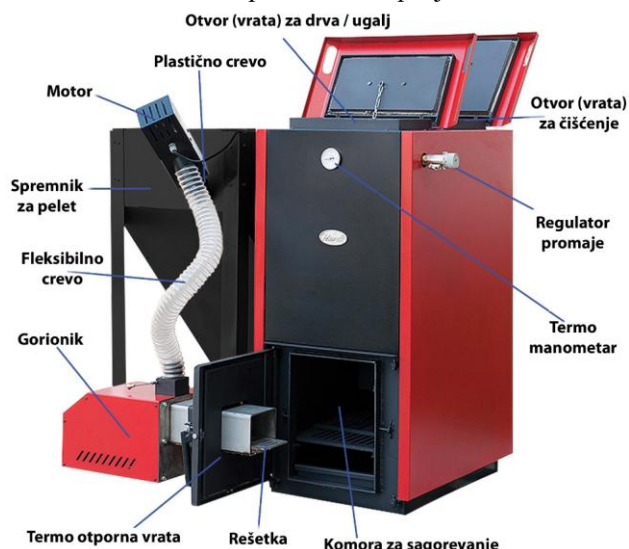
Цеви од којих се израђује подно грејање могу бити пластичне (полетиленске, полипропиленске...) или мешавине пластике са другим материјалима.

3. СИСТЕМИ ГРЕЈАЊА

3.1. Котао на пелет

Котао на пелет (слика 1) је врста котла на чврсто гориво који користи пелете као гориво за производњу топлоте. Пелет је производ добијен пресовањем струготине и пиљевине сувог, висококалоричног дрвета. Пиљевина и струготина се подвргавају високом притиску где се услед тога загревају и стварају природно везиво. Приликом пресовања нису дозвољена додатна везива. Као чист производ биомасе пелет је CO₂ неутралан, тј. не доприноси ефекту стаклене баште. Дрво као основни састојак пелета је обновљив извор енергије и гориво будућности. Просечна димензија пелета која се користи је пречника 6 мм максималне дужине 25мм, у супротном може доћи до проблема у раду пећи. Квалитет пелета дефинисан је стандардом ДИН 51731.. Ови котлови постају све популарнији због

еколошке прихватљивости, лакоће коришћења и високог степена искоришћења енергије.



Слика 1- Котао на pellet[1]

3.2 Топлотне пумпе

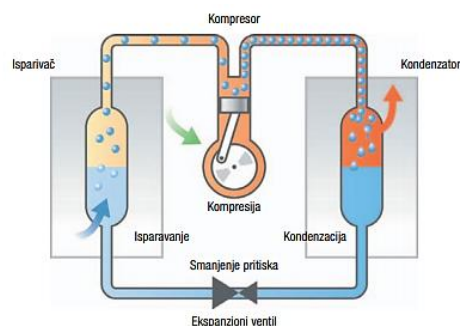
Принцип рада топлотне пумпе је врло једноставан и огледа се у коришћењу топлотне енергије из околине. Уз помоћ топлотне пумпе топлота из околине се подиже на жељени ниво довољан за потребе система грејања или хлађења. Систем грејања топлотним пумпама се састоји од извора топлотне енергије (вода, земља, ваздух), саме топлотне пумпе, система за дистрибуирање и чување топлотне енергије. Топлотне пумпе називамо обрнути фрижидер то јест замрзивач пошто се састоји из истих елемената (Слика 2).

□ Испаривач је измењивач топлоте са задатком размене топлотне енергије. Кроз испаривач протиче расхладни флуид (амонијак, фреон) под ниским притиском и са ниском температуром. Расхладни флуид преузима топлоту из окружења (извора топлоте) и тада испарава.

□ Компресор усисава парну фазу расхладног медијума из испаривача и компресијом повећава му притисак и температуру. Компресор као извор енергије користи електричну енергију. Загрејан расхладни флуид у гасовитом стању одлази у кондезатор.

□ У кондезатору топлотна енергија загрејаног расхладног флуида се предаје на хладнији медијум за пренос топлоте (нпр. воду за грејање). Расхладни флуид предајом своје топлотне енергије се кондензује а притисак остаје константан.

□ Експанзиони вентил смањује висок притисак који је остварио компресор, и на тај начин спушта температуру средства за хлађење испод температуре извора топлоте, како би кружни процес могао поново да буде успостављен. Расхладни флуид прелази у гасовито стање и улази назад у испаривач



Слика 2: Елементи топлотне пумпе [2]

4. ТЕХНИЧКА РЕШЕЊА ТЕРМОМАШИНСКИХ ИНСТАЛАЦИЈА ОСНОВНЕ ШКОЛЕ

4.1.1. Техничко решење радијаторско грејање и котао на pellet

□ Котларница

За предметни објекат, предвиђена је уградња котла на pellet, топлотног капацитета 200 kW у температурном режиму 80/60°C, при спољашњој температури (-14.8°C). Топла вода се од котла води до сабирника/разделника топле воде DN125, L=1200mm, при чему је циркулација воде обезбеђена преко циркулационе пумпе. На разделнику су предвиђена 2 прикључка за грејне кругове. Први грејни круг предвиђен је за објекат школе, док је други намењен суседном објекту у школском дворишту (који није предмет мастер рада). За сваки грејни круг предвиђена је уградња циркулационе пумпе са фреквентном регулацијом, произвођача GRUNDFOS (детаљније у нумеричкој и графичкој документацији). Циркулациона пумпа на потисним гранама је предвиђена за савладавање отпора у цевној мрежи и на радијаторима који су предвиђени да се поставе по просторијама објекта.

Котао на pellet представља основни извор топлотне енергије. У котларници се поред котла налазе и неповратни вентил, сигурносни вентил са опругом притиска активације 3,0 бар, акумулатор топлоте, експанзиона посуда, разделник и сабирник као и остала запорна арматура. Предвиђено је да се на котао прикључи радијаторска инсталација школе. □

Радијатори који се уграђују су алуминијумски радијатори „GLOBAL“. Цевни развод радијаторске мреже изводи се од челичних цеви до сваког уређаја. За савладавање отпора у цевној мрежи предвиђена је уградња циркулационе пумпе произвођача GRUNDFOS, тип MAGNA 3 65-40F техничких карактеристика дефинисаних нумеричком и графичком документацијом.

Грејна тела снабдевена су радијаторским вентилима са могућношћу предрегулације и затварајућим навијком за двоцевни систем грејања, са одзрачним вентилићем и испушном славиницом. Радијаторски вентили и навијци су димензије ДН15. Радијатори се постављају углавном испод прозора, на ногаре односно по потреби на конзоле.

Радијатори су повезани у двоцевни систем грејања. Одзрачивање инсталације је централно преко централних одзрачних посуда, аутоматских одзрачних вентила у подстаници и помоћу одзрачних ручних вентила на самим радијаторима.

Табела 4- Приказ губитака топлоте и одабир грејних тела

ПРОРАЧУН ГРЕЈНИХ/РАСКЛАДНИХ ТЕЛА							
Редни број	Назив просторије	Унут. тем. п.	Потребно за грејање	Карактеристике грејног тела			Стварно инсталисана грејна снага
		°C		Тип јединице	Грејна снага	Број јединица	
			W	GLOBAL VOX	W	ком	W
ШКОЛА - ПРИЗЕМЉЕ							
1	ХОДНИК	20	12558.48	VOX 600	1900	7	14760
2	НИЖИ РАЗРЕД	20	4703.40	VOX 600	1752	3	5256
3	ИСТОРИЈА	20	5452.32	VOX 600	1460	4	5840
4	ПРИПРЕМА	20	1138.56	VOX 600	1460	1	1460
5	ФИСКУЛТУРНА САЛА	20	13129.23	VOX 600	2190	7	15330
6	МУШКА СВЛАЧИОНИЦА	20	4284.70	VOX 600	2190	2	4380
7	ЖЕНСКА СВЛАЧИОНИЦА	20	2575.71	VOX 600	2190	1	2190
8	НЕМАЧКИ/ЕНЕГЛЕСКИ	20	5417.92	VOX 600	2190	3	6570
9	МУШКИ ТОАЛЕТ	15	2890.65	VOX 608	2920	1	2920
10	ТОАЛЕТ ПРОФЕСОРИ	15	3120.45	VOX 600	1771	5	8855
СПРАТ							
1	ДИРЕКТОР	20	1938.15	VOX 600	1460	2	2920
2	РАЧУНОВОДСТВО	20	1211.00	VOX 600	1460	1	1460
3	ПЕДАГОГ	20	1204.88	VOX 600	1460	1	1460
4	ЗБОРНИЦА	20	2619.51	VOX 600	1460	2	2920
5	СРПСКИ	20	5600.76	VOX 600	1460	4	5840
6	БИБЛИОТЕКА	20	2043.48	VOX 600	1460	2	2920
7	МАТЕМАТИКА	20	4516.61	VOX 600	1752	3	5256
8	ПРИПРЕМА	20	1499.86	VOX 600	1752	1	1752
9	ИНФОРМАТИКА	20	5826.91	VOX 600	1752	4	7008
10	ФИЗИКА	20	4397.31	VOX 600	1752	3	5256
11	БИОЛОГИЈА	20	5548.57	VOX 600	1752	3	5256

12	ТОАЛЕТ ЗА ИНВАЛИДЕ	15	999.12	VOX 600	1460	1	1460
13	ЖЕНСКИ ТОАЛЕТ	15	3226.41	VOX 600	1752	2	3504
14	ХОДНИК	20	13629.74	VOX 600	2214	4	8856
ПОДРУМ							
1	ХОДНИК	20	1350.00	VOX 600	1460	1	1460
2	ТРПЕЗАРИЈА	20	2674.97	VOX 600	1460	3	4380
4	ТРПЕЗАРИЈА	20	1881.14	VOX 600	1460	2	2920
5	КУХИЊА	18	3991.87	VOX 600	2190	2	4380

4.1.2. Техничко решење подно грејање и топлотна пумпа

Топлотна пумпа

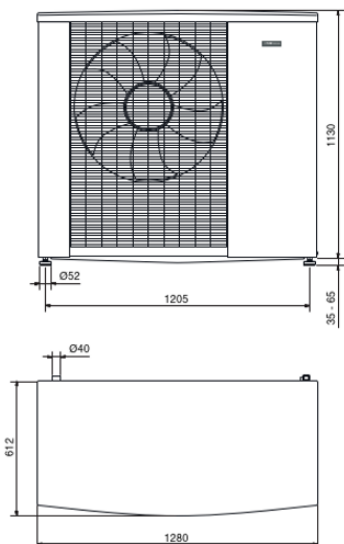
На основу прорачуна топлотних губитака просторија извршено је димензионисања генератора топлоте, на основу кога је одабрано решење са 12 каскадно везаних топлотних пумпи укупног топлотног капацитета 192 kW. На основу тога је извршен избор одговарајуће топлотне пумпе реномираног произвођача NIBE, Шведска.

Техничке карактеристике топлотне пумпе ваздух/вода

- ☐ Једносементна топлотна пумпа капацитета 16kW грејања са инвертерским компресором
- ☐ ЦОП=3,1
- ☐ Напон напајања 400 V; 3 Ph; 50 Hz.
- ☐ Максимална температура полазне воде 65°C
- ☐ Максимална спољна температура за рад топлотне пумпе износи -25 °C при којој максимална излазна температура воде износи 63 °C
- ☐ Димензије: 1165 x 612 x 1280 mm
- ☐ Тежина: 160kg
- ☐ Ниво буке: 39 dB на 2m растојања
- ☐ Средство за хлађење: фреон R410A (максимално 3 kg)

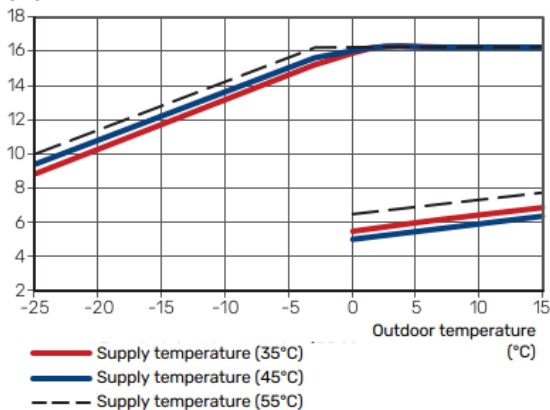
Из топлотне пумпе вода се транспортује преко акумулатора топлоте цевима до потрошача, односно грејних тела (фан цоил). За обезбеђење пројектованих протока и уравнотежавање цевне мреже, на разделнику топле воде на страни топлотних пумпи предвиђена је уградња циркулационе пумпе.

За развод топле воде од топлотне пумпе до котларнице користе се полиетиленске цеви PEHD SDR17,5 а до котларнице грејних тела, користе се црне челичне шавне цеви. На највишим тачкама инсталације предвиђени су одзрачни лончићи ради елиминисања ваздуха из инсталације. Са истим циљем, сва хоризонтална цевна мрежа предвиђена је под успоном од 0,3% ка одзрачним судовима. За компензацију топлотног ширења воде у инсталацији, предвиђена је затворена експанзиона посуда са мембраном, произвођача елби ERCE.

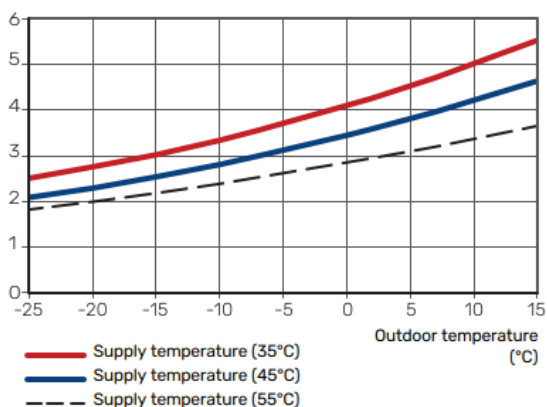


F2120-20

Heating capacity
(kW)



COP



Слика 3: Техничке карактеристике
топлотне пумпе [3]

5. Закључак

Годишња потрошња електричне енергије за топлотну пумпу ваздух-вода снаге 200 kW, која ради 16 сати дневно на 60% капацитета током грејне сезоне (180

дана), износи око 115.200 kWh. При просечној цени од 10 RSD по kWh, годишњи трошкови за електричну енергију би били око 1.152.000 RSD.

5.2.3. Време отплате

Да бисмо израчунали за колико година ће се исплатити замена котла на пелет са топлотном пумпом, користићемо следећу формулу:

Време отплате=(Инвестиција у топлотну пумпу)/(Годишња уштеда)

Подаци:

Инвестиција у топлотну пумпу: 7.732.394 RSD

Годишњи трошкови топлотне пумпе: 1.152.000 RSD

Годишњи трошкови котла на пелет: 2.540.700 RSD

Годишња уштеда:

Годишња уштеда је разлика између годишњих трошкова котла на пелет и топлотне пумпе:

Годишња уштеда=2.540.700 RSD – 1.152.000 RSD = 1.388.700 RSD

Време отплате:

Време отплате=(7.732.394 RSD)/(1.388.700 RSD)≈5,57 година

Подно грејање са топлотном пумпом ваздух-вода је енергетски ефикасније од радијаторског грејања са котлом на пелет. Топлотна пумпа користи мање енергије за производњу исте количине топлоте, посебно у комбинацији са подним грејањем које ради на нижим температурама. Овај систем је такође исплативији на дугорочном нивоу, са нижим оперативним трошковима и већом еколошком одрживошћу.

6. Литература

[1] – Котао на пелет доступно на: <https://www.termokonvoj.com/proizvod/kombinovani-kotao-drva-ugalj-pelet-mareli-pelet-set-25kw/>

[2] – Топлотна пумпа доступна на: <https://www.gruppomelina.it/impianti-geotermici-pompe-di-calore.html>

[3] – Технички лист топлотне пумпе доступно на: <https://www.etaz.rs/toplotne-pumpe-vazduh-voda>

Кратка биографија:



Стефан Јовановић, рођен у Шапцу, 18.07.1995. године.
Факултет техничких наука, Нови Сад
Машинство - Енергетика и процесна техника
Основне студије завршио 2019. године
Email: resolve.ns@gmail.com

**PRIMENA BIOMASE U SISTEMIMA DALJINSKOG GREJANJA - PRIMER
REALIZACIJE PROJEKTA U TOPLANI U MAJDANPEKU****APPLICATION OF BIOMASS IN DISTRICT HEATING SYSTEMS – PROJECT
IMPLEMENTATION IN MAJDANPEK HEATING PLANT**

Luka Janeš, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U radu je predstavljena novoprojektovana kotlarnica u Majdanpeku, koja služi za pomoć starom sistemu grejanja. Predstavlja veoma bitan prelazak sa fosilnih goriva na obnovljive izvore energije u cilju sačuvanja životne sredine. U radu je opisana njena konstrukcija, položaj, rad i način povezivanja na distributivnu mrežu. Takođe, u radu su predstavljeni proračuni potrošnje goriva, proizvodnje toplotne energije, poređenje sa prethodnim godinama, proračun toplotnog kapaciteta kotlova kao i podatci o merenjima emisije zagađujućih komponenata.

Ključne reči: grejanje, toplotna energija, kotlarnica, analiza.

Abstract – The paper presents a newly designed boiler plant in Majdanpek, which serves as a support to the old heating system. It represents a significant transition from fossil fuels to renewable energy sources with the aim of preserving the environment. The paper describes its construction, location, operation, and the way it is connected to the distribution network. Additionally, it includes calculations of fuel consumption, heat energy production, comparisons with previous years, the calculation of the heat capacity of the boilers, as well as data on pollutant emission measurements.

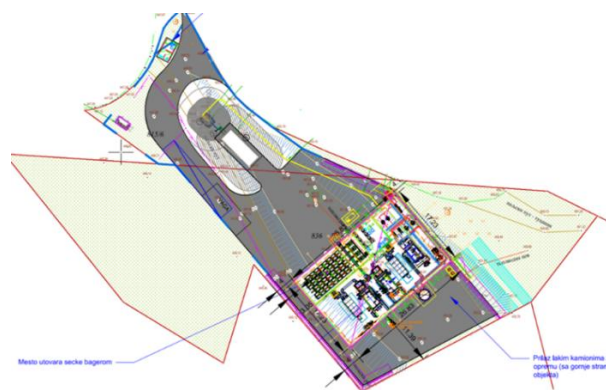
Key words: heating, thermal energy, boiler room, analysis.

1. UVOD

Sa stalnim rastom urbanih sredina i povećanjem broja stanovnika, potražnja za energijom postaje sve veća. Međutim, puko povećanje kapaciteta proizvodnje energije nije dovoljan odgovor na ovaj izazov. Neophodno je osigurati da proces proizvodnje energije bude efikasan, održiv i ekološki prihvatljiv. U postojećem sistemu, snabdevanje toplotnom energijom vršilo se putem postrojenja koja koriste biomasu i mazut kao osnovne energente. Mazut, kao fosilni energent, značajno doprinosi emisiji štetnih gasova, često premašujući dozvoljene granice zagađenja. Uz to, njegova upotreba predstavlja

najskuplji način grejanja po jedinici proizvedene toplotne energije u poređenju s drugim energentima.

Novoprojektovana kotlarnica na biomasu i komprimovani prirodni gas (KPG) predstavlja potpuno novi građevinski objekat koji se planira u skladu sa savremenim zahtevima za energetske efikasnost i održivo korišćenje resursa. Situaciono rešenje prikazano je na slici 1.



Slika 1. Situaciono rešenje kotlarnice

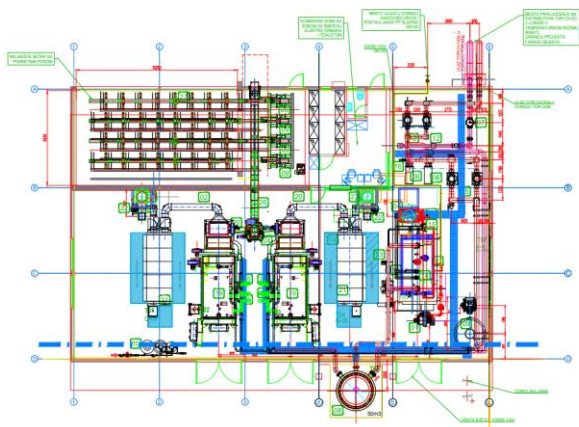
2. OPIS KOTLARNICE

Završetkom ove toplane otklanja se višedecenijski problem zagađenja vazduha, korišćenje fosilnih goriva, prelaskom na obnovljive izvore energije kao što je biomasa. Izgradnjom nove toplane na biomasu u Majdanpeku, sve se menja s obzirom da je grad u prethodnom periodu imao probleme sa grejanjem i mazutom, kog je bilo teško nabaviti [2].

Kotlarnica sadrži dva kotla na biomasu, svaki snage 1,5 MW, kao i kotao na komprimovani prirodni gas (KPG), snage 5 MW. Ovaj sistem omogućava snabdevanje toplotnom energijom, posebno u periodima vršnih opterećenja kada kotlovi na biomasu ne mogu da zadovolje sve energetske potrebe. Izgleda kotlarnice u Majdanpeku može se videti na slici 2 kao pogled odozgo.

NAPOMENA:

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



Slika 2. Igleđ kotlarnice Majdanpek, pogled odozgo

Sistem daljinskog grejanja (SDG) omogućava grejanje domaćinstava i industrijskih objekata iz jednog izvora, i čine ga:

- Proizvodni izvor – Toplana
- Mreža – Sistem toplovoda i mernih uređaja koji povezuju izvor i krajnjeg korisnika
- Toplotno predajna stanica (TPS) – Obezbeđuje isporuku toplotne energije u unutrašnje instalacije.

Prema godišnjem popisu stanovnika iz 2022. godine u Majdanpeku, broj domaćinstava u gradskim područjima gde postoje sistemi daljinskog grejanja može se videti u tabeli 1 [1].

Tabela 1. Poređenje broja priključenja [1]

Grejna sezona	2020.	2021.	2022.
Broj priključenih domaćinstava (SDG)	2343	2350	2400
Broj domaćinstava – gad	4047	4047	3933
Broj domaćinstava – ostalo	3169	3169	2725
Ukupan broj domaćinstava (g+o)	7216	7216	6658

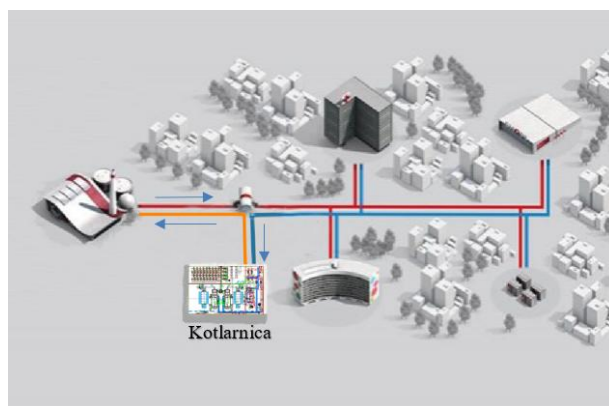
Ukupna površina u Majdanpeku čijim je vlasnicima isporučivana toplotna energija iz sistema daljinskog grejanja u 2022. godini iznosila je 140004 m³, odnosno stambenog prostora 119147 m³ i poslovnog prostora 20857 m³. Poređenje grejnih površina kroz godine prikazano je u tabeli 2.

Tabela 2. Poređenje veličina grejnih površina

Grejna sezona	2020.	2021.	2022.
Grejna površina domaćinstava [m ³]	116647	116647	119147
Grejna površina poslovnog prostora [m ³]	20857	20857	20857
Ukupna grejna površina [m ³]	137504	137504	140004

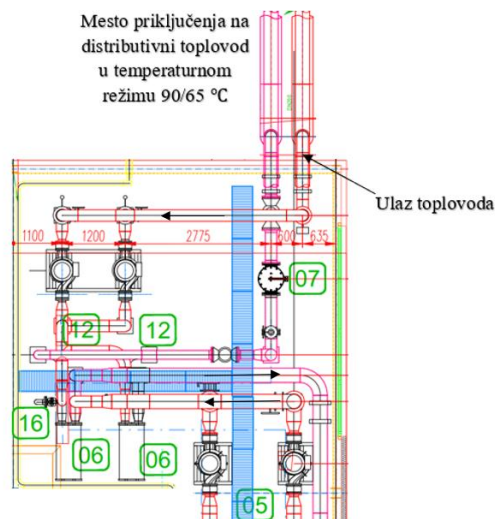
Broj novih priključenja na SDG u 2022. godini stambenog prostora predstavlja rast od 2,14 % u odnosu na prethodne dve godine, dok je broj priključenja poslovnog prostora ostao isti.

Kompletan sistem toplovoda prikazan je na slici 3. Kotao na drvenu sečku iz stare toplane zagreva vodu koja se putem pumpi transportuje kroz toplovodne cevi do krajnjih korisnika. Nova kotlarnica je priključena na povratni toplovod, dok je njen izlaz povezan sa starom toplanom. Funkcija kotlarnice je da dogreva vodu pre nego što uđe u staru toplanu, gde se temperatura dodatno podiže do potrebnog nivoa. Celokupan sistem predviđen je da radi u sprezi sa postojećom kotlarnicom na biomasu, kako bi se upotreba mazuta u potpunosti eliminisala. Dve kotlarnice će se dopunjavati, tako da se maksimalizuje upotreba drvene sečke kao energenta, a minimalizuje potreba za korišćenjem komprimovanog gasa. Režim rada kotlarnice je 105/85 °C, a režim rada distributivne mreže je 100/65 °C



Slika 3. Prikaz toplovodnog sistema

Povratni toplovod od korisnika ulazi u kotlarnicu sa temperaturom od 65°C. Pumpe omogućavaju prolazak vode kroz razmenjivače toplote, gde preuzima energiju. Na putu do izlaza iz kotlarnice, voda prolazi kroz mehanički filter. Temperatura vode koja izlazi iz kotlarnice je 90°C. Istovremeno, cirkulacione pumpe akumulator toplote-razmenjivač, transportuju vodu do razmenjivača toplote, gde ona predaje toplotnu energiju vodi iz povratnog voda. Ova dva vodena kruga su odvojena i međusobno se ne mešaju. Na slici 4 prikazan je ovaj proces.



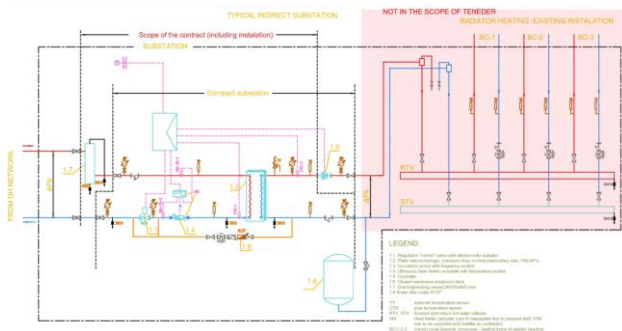
Slika 4. Prikaz priključenja na distributivnu mrežu

- 05 – Cirkulacione pumpe akumulator toplote-razmenjivač
 06 – Pločasti razmenjivači toplote
 07 – Mehanički filter
 12 – Cirkulacione pumpe – mrežne
 16 – Ventil sigurnosti

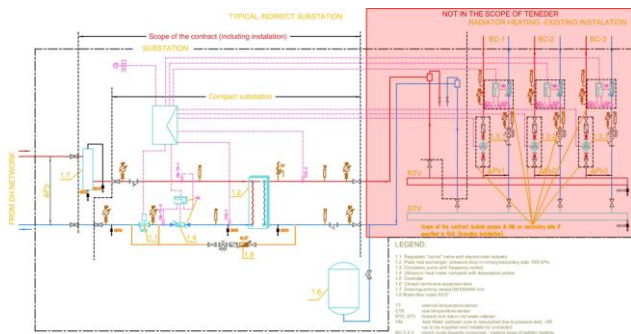
Toplotno predajne stanice

Toplotno predajna stanica funkcioniše tako što preuzima toplotnu energiju iz primarnog toplovodnog kruga, koji prenosi toplu vodu iz toplane, i predaje je sekundarnom krugu grejanja unutar zgrade ili objekta

U Majdanpeku, nalazi se ukupno 57 podstanica koje su podeljene na gornji (29) i donji (28) deo grada. Podstanice su srednjih vrednosti dimenzija 3,3x3,7x2,4 m (DxŠxV), i toplotne potražnje u rasponu od 3 – 1084 kW. Dva tipa podstanica su korišćena, a i b (slike 5 i 6). Na slikama ispod, prikazane su skice jednog od oba tipa. Razlika između 1a i 1b je dodatni narandžasti vod, što predstavlja dodatak za dopunu sistema putem kombinovanog ventila, ta razlika je ista i između tipova 2a i 2b. Što se tiče razlike između tipova 1 i 2, ona se odnosi na položaj pumpi, na sekundarnoj strani je na kolektoru u odnosu na tip 1 gde se nalazi samo jedna pumpa koja gura ceo kapacitet.



Slika 5. Izgled toplotno predajne stanice tipa 1a



Slika 6. Izgled toplotno predajne stanice tipa 2a

3. PROIZVODNJA TOPLOTNE ENERGIJE

Instalisana snaga kotlova na drvenu sečku nije dovoljna da samostalno obezbedi grejanje svih potrošača tokom celog zimskog perioda, pa je neophodno uključiti dodatni izvor toplote za pokrivanje vršnih opterećenja. U tu svrhu se koristi kotao na komprimovani prirodni gas.

Poređenje raznih vrednosti dobijenih sa izveštaja o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji [1], toplane Majdanpek kroz godine rada, prikazano je u tabeli 3.

Tabela 3. Poređenje toplane kroz godine [1]

	2020.	2021.	2022.	2023.
Uk. Instalirana snaga konzuma (MW)	19	19	19	19
Stepen korisnosti (%)	80	85	85	85
Utrošeno goriva (mazut, t/god)	3226	0	299	0
Utrošeno goriva (biomasa, t/god)	0	4766	12835	13686
Utrošeno goriva (el. energija, MWh)	2	224	2291	0
Stepen dan – SD	2515	3091	2697	2744
Proizvodnja energije po SD [MWh/SD]	8,94	8,19	9,82	11,78
Proizvodnja energije po grejnoj površini [kWh/m ²]	163,44	184,1	178,8	215,2
Prosečna temperatura u grejnom periodu (°C)	7,17	4,7	5,5	6
Broj dana u grejnom periodu	196	202	186	196
Isporučena toplotna energija za grejanje (MWh)	22474	25305	25032	32311

Kao probleme u distributivnoj mreži navode kao i svake godine, da je mreža dotrajala i da imaju velike gubitke vode i toplote. Majdanpek je 2021. godine zamenio kotao novim kotlom na mazut snage 12 MW, i kotlom na biomasu snage 7 MW, koji se koriste i 2022. godine.

Problem grejnog sistema Majdanpeka je dotrajalost postrojenja, opreme i uređaja, kao i nizak stepen automatizacije. Takođe javljaju se problemi i u distributivnom sistemu, dotrajalost mreže, veliki gubici vode i toplotne energije. Ovi problemi dobro se pokazuju na različiti proizvedene i isporučene toplotne energije.

4. ODREĐIVANJE TOPLOTNOG KAPACITETA KOTLOVA

Korisna toplotna snaga u stacionarnim uslovima određuje se pomoću izraza:

$$Q_{N sta} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (1)$$

Gde su:

$\dot{m}$ – Protok vrele vode

h_1 – Entalpija na prosečnoj ulaznoj temperaturi vode t_1

h_2 – Entalpija na prosečnoj izlaznoj temperaturi vode t_2

Za svaku promenu srednje temperature vode tokom ispitivanja, vrši se korekcija korisne toplotne snage i onda se određuje pomoću izraza:

$$Q_N = Q_{N sta} \cdot (1 + f) \quad (2)$$

gde je,

$$f = \frac{V_B}{\dot{V}} \cdot \frac{1,1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\Delta t}{\tau} \quad (3)$$

Pre izračunavanja korisne snage potrebno je proveriti da li su ostvareni stacionarni uslovi rada postrojenja [3]. Za generatore vrele vode kriterijum je da časovna promena temperature $\Delta t/\tau$ ne sme prekoračiti vrednost data izrazom:

$$\frac{\Delta t_{\tau}}{\tau} < 0,03 \cdot \frac{\dot{V} \cdot (t_2 - t_1)}{1,15 \cdot V_B} \quad (4)$$

Pomoću ovih formula, nakon utvrđivanja stacionarnosti uslova, sledi određivanje korisne toplotne snage kotlova pri minimalnom opterećenju, i pri opterećenju od 100 %. Izračunate vrednosti snage za sva tri kotla nove kotlarnice, prikazane su u tabeli 4. Kotao 1 i 2 predstavljaju kotlove na biomasu, dok je kotao 3 na komprimovani gas.

Tabela 4. Toplotni kapacitet kotlova [3]

	Korisna toplotna snaga (kW)	
	100 %	minimum
Kotao 1	1569,5	430,56
Kotao 2	1554,1	491,64
Kotao 3	5197,6	1494,49

Na osnovu gore dobijenih rezultata, može se zaključiti da pri maksimalnom opterećenju, kotao 3 koji koristi prirodni gas, ima najveću vrednost korisne snage, i da se maksimalne vrednosti snaga kotlova razlikuju od vrednosti datih od strane proizvođača.

5. ZAKLJUČAK

Novoprojektovana kotlarnica u Majdanpeku predstavlja značajan korak ka modernizaciji sistema grejanja prelaskom sa fosilnih goriva poput mazuta na obnovljive izvore energije, kao što su biomasa (drvena sečka) i komprimovani prirodni gas (KPG). Ovaj projekat, osim tehničkih prednosti, može poslužiti kao primer kako se moderne tehnologije i obnovljivi izvori energije mogu integrisati u energetske sisteme lokalnih zajednica, pružajući odgovor na globalne izazove klimatskih promena i energetske tranzicije. Krajnje, može se zaključiti da novoprojektovana kotlarnica u Majdanpeku predstavlja tehničku inovaciju u sprezi sa starim sistemom toplane.

6. LITERATURA

[1] Poslovno udruženje "Toplane Srbije", "Izveštaj o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji", za 2020. – 2022. godinu.

[2] Željko Kaurin, "Projekat za izvođenje (PZI), Kotlarnica na biomasu i komprimovani prirodni gas", Majdanpek, 2023.

[3] Dejan Radić, "Izveštaj o ispitivanju (sveska 2), Prijemna ispitivanja kotlova u kotlarnici na biomasu i komprimovani gas", Majdanpek, 2023.

Kratka biografija:



Luka Janeš, rođen je u Somboru 2000. godine. Završio je Srednju Tehničku školu u Somboru, nakon čega 2019. god. upisuje Fakultet tehničkih nauka u oblasti Mašinstvo – Energetika i procesna tehnika. Bachelor rad odbranio je 2023. god. dok je master rad odbranio 2024. god.
Kontakt: janesluka00@gmail.com

ISKORIŠĆENJE OTPADNE TOPLOTE U DATA CENTRIMA UPOTREBOM TOPLOTNE PUMPE**USE OF WASTE HEAT IN DATA CENTERS BY HEAT PUMP APPLICATION**Gordan Grozdanić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – Toplotna i procesna tehnika**

Kratak sadržaj – U radu se razmatra implementacija toplotne pumpe kao alata za iskorišćenje otpadne toplote generisane unutar data centra. Toplotna pumpa se koristi u zimskom periodu za grejanje kompanije koja je vlasnik data centra, rad pumpe paralelno sa grejanjem vrši i hlađenje data centra. Takođe se vrši komparacija sa drugim sistemom grejanja, radi prikazivanja benefita i potencijala iskorišćenja otpadne toplote.

Ključne reči: Iskorišćenje otpadne toplote, toplotne pumpe

Abstract – This paper discusses the implementation of a heat pump as a tool for utilizing waste heat generated within a data center. The heat pump is used during the winter season to provide heating for the company that owns the data center, while simultaneously cooling the data center. Additionally, a comparison with other heating system is conducted to showcase the benefits and potential of utilizing waste heat.

Keywords: Waste heat recovery, heat pumps

1. UVOD

Ubrzan razvoj tehnologije i sve veća digitalizacija društva doveli su do značajnog povećanja broja data centara širom sveta. Podaci su postali ključni resurs u modernoj ekonomiji, a potreba za njihovim skladištenjem, obradom i brzim pristupom uslovljava je eksponencijalni rast infrastrukture data centara. Međutim, ovaj rast nosi sa sobom brojne izazove, od kojih je jedan od najvećih enormna potrošnja električne energije. Podaci ukazuju da data centri već sada konzumiraju značajan deo globalne električne energije, a očekuje se da će se taj udeo samo povećavati u budućnosti. Ovaj problem postaje još izraženiji u kontekstu globalnih napora za smanjenje emisije ugljen-dioksida i prelaska na održivije izvore energije.

Pored velike potrošnje energije, još jedan značajan aspekt rada data centara jeste generisanje otpadne toplote. Zbog potrebe za rashladnim sistemima, data centri generišu velike količine toplote koju je neophodno rashladiti da bi se održale optimalne temperature za rad opreme.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miroslav Kljajić, van. prof.

Iako je ovo do sada uglavnom predstavljalo problem, savremene tehnologije otvaraju mogućnosti za korišćenje te otpadne toplote u razne svrhe, uključujući grejanje zgrada, proizvodnju tople vode i čak generisanje dodatne električne energije.

U ovom radu će biti analizirani izazovi koje donosi rastuća potrošnja energije u data centrima, kao i potencijalna rešenja u vidu korišćenja otpadne toplote. Istražiće se kako inovacije u dizajnu i upravljanju data centrima mogu doprineti smanjenju njihovog energetskog otiska i kako održivi modeli mogu postati standard u ovoj oblasti u narednim decenijama.

Napraviću komparaciju između dva sistema, prvi sistem će biti sistem toplotne pumpe u kombinaciji sa klasičnim sistemom hlađenja data centra (CRAC) gde bi toplotna pumpa koristila otpadnu toplotu generisanu u data centru u svrhu dobijanja toplotne energije kojom bi se objekat grejao u zimskom periodu. Drugi sistem će biti kombinacija klasičnog sistema grejanja objekta putem daljinskog grejanja i CRAC sistema hlađenja data centra. Dobijene rezultate ćemo grafički prikazati i prokomentarisati u par rečenica, na osnovu kojih ćemo videti da li toplotna pumpa u ovakom jednom sistemu ima primenu i koliki će biti njen potencijal.

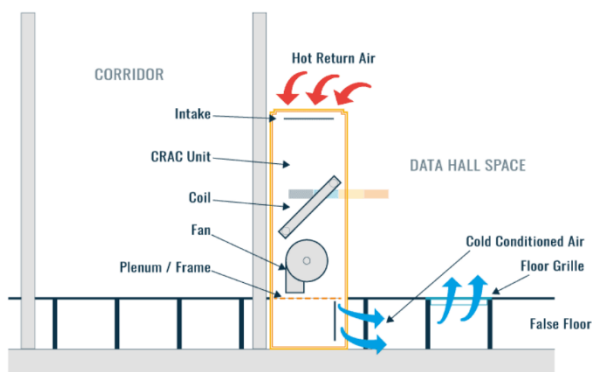
2. RASHLADNI SISTEM DATA CENTRA

Postoji nekoliko sistema za hlađenje data centara koji se koriste u industriji, uključujući jedinice za klimatizaciju računarskih prostorija (CRAC) i jedinice za rukovanje vazduhom u računarskim prostorijama (CRAH), zatim zadržavanje toplih i hladnih prolaza, hlađenje u redovima i rekovima, hlađenje ohlađenom vodom, hlađenje tečnostima, slobodno hlađenje, isparavajuće hlađenje i druge [1]. Hlađenje data centara igra ključnu ulogu u održavanju performansi sistema.

Sistemi za hlađenje u data centrima su dizajnirani da raspršuju toplotu koju generišu serveri, skladišni sistemi, mrežni hardver i razna druga oprema. Ova toplota, merena u smislu temperature, nastaje kada se električna energija pretvara u toplotnu energiju, proces koji se dešava zbog neefikasnosti elektronskih komponenti. Pored upravljanja toplotom, sistemi za hlađenje data centara takođe održavaju odgovarajuće nivoe vlažnosti unutar objekta. Time se sprečava nakupljanje statičkog elektriciteta i kondenzacije, što može dovesti do korozije. Oba faktora mogu izazvati značajnu štetu elektronskoj opremi.

U ovom radu će se za sistem hlađenja data centra uzeti sistem klimatizacije računarskih prostorija (CRAC). Sa

konfiguracijom protoka vazduha 'nadole' što se može videti na slici 1.



Slika 1. CRAC sistem sa protokom 'nadole' [2]

Jedinica CRAC (eng. Computer Room Air Conditioning) je kritični deo opreme za hlađenje, koja se sastoji od filtera, ventilatora, zavojnica i spoljnog kondenzatora sa direktnom ekspanzijom, povezanog sa nizom cevi za rashladno sredstvo radi preciznog upravljanja i kontrole temperature i vlažnosti prostora unutar specificiranih dizajnerskih tolerancija. Obično se mogu naći u prostorijama od kritičnog značaja, data centrima, prostorijama za podatke, IT ili UPS sobama [2].

3. UPARIVANJE TOPLOTNE PUMPE SA CRAC SISTEMOM HLAĐENJA

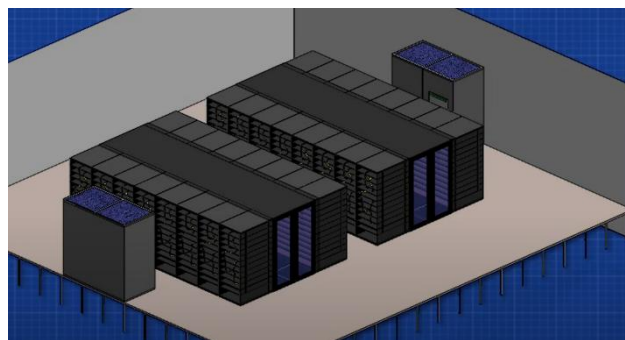
Uzimajući u obzir sve elemente data centra, lako se može izvući zaključak kako se u data centrima generiše velika količina toplote, koju je naravno potrebno izbaciti iz data centara kako bi oni mogli neometano da rade. Za to koristimo odgovarajuće rashladne sisteme koji su opisani u prethodnom poglavlju, međutim možemo primetiti kako se baš u ovom primeru baca ogromna količina toplote koja bi inače mogla biti iskorišćena. Data centre možemo posmatrati kao nepresušni izvor toplote, imajući u vidu da oni rade neprestano, naravno ne uvek u istom kapacitetu, ali konstatno rade. Stoga ću u ovom poglavlju razmatrati primenu toplotne pumpe u jednom data centru. Toplotna pumpa će biti tipa voda-voda, gde bi dobijenu vodu na nekih 55°C koristili u sistemu grejanja objekta u kom se nalazi razmatrani data centar, takođe bi objekat mogli da snabedmo i sa toplom potrošnom vodom.

Objekat koji ćemo razmatrati je IT kompanija koja u svom sklopu ima data centar čije kapacitete iznajmljuje korisnicima koji imaju potrebu za istim, a takođe koriste data centar i za svoje potrebe. Pretpostavićemo da se objekat kompanije prostire na 1700 kvadratnih metara koje bi u zimskom periodu trebalo grejati određenim kapacitetima. Za data centar ćemo pretpostaviti da sadrži 10 rekova koji generišu 15 kW toplotne energije, što bi ukupno značilo da se generiše 150 kW toplotne energije, data centar će se hladiti CRAC sistemom hlađenja koji će kao rashladno sredstvo koristiti kombinaciju vode i glikola koji se nakon što preuzme toplotu od vazduha pumpa u suvi hladnjak lociran na krovu objekta gde mu se toplota odvodi u atmosferu. Sistem opisan u prošloj rečenici bi bio slučaj u letnjem periodu kada u objektu nema potrebe za grejanjem, u zimskom periodu ne bi bilo potrebe za korišćenjem suvih hladnjaka iz razloga što bi rashladni fluid na niskoj temperaturi, odgovarajućeg protoka dobili

proticanjem glikola kroz izmenjivač na strani isparivača toplotne pumpe. Tako da preko odgovarajućeg sistema cevovoda, u zavisnosti od godišnjeg doba toplota bi od rashladnog fluida (voda-glikola) bila odvođena pomoću toplotne pumpe/suvog hladnjaka.

3.1. Način distribuiranja vazduha i pozicioniranje rekova

Najpravičnije pozicioniranje rekova, njihova orijentacija i pozicija podnih rešetki je prikazano na slici 2. Ovde možemo da vidimo kako bi celokupna oprema u jednom data centru trebala da bude raspoređena. Svaki rek u jednom redu bi trebao da bude pozicioniran tako da rek u drugom redu bude orijentisan istom stranom, odnosno prednji deo prvog reda treba da gleda na prednji deo drugog reda, kako bi se izbegle loše prakse. Takođe na ovom primeru možemo da vidim da za najveću moguću efikasnost odvajamo takozvani hladni i topli odeljak, u ovom slučaju odvajamo hladni odeljak. Ovim postižemo da ni u kom slučaju neće doći do mešanja hladnog i toplog vazduha iz razloga što je hladni odeljak fizičkom barijerom odvojen od toplog. Čitava količina svežeg vazduha koji uđe kroz podne rešetke izaći će kroz rek i zatim se vratiti nazad do CRAC jedinice, gde će nakon obrade nastaviti proces ispočetka. Istim ovakvim raspored opreme ću se ja voditi u nastavku rada, u svrhu postizanja maksimalne efikasnosti hlađenja opreme.



Slika 2. Pravilno pozicioniranje opreme data centra [3]

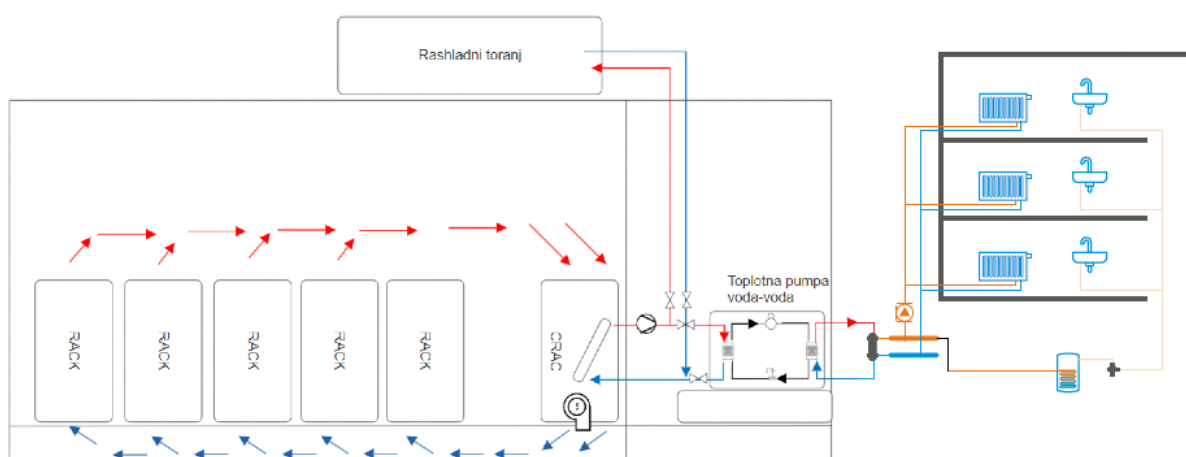
3.2. Odabir toplotne pumpe

Kao što je rečeno na početku poglavlja kompanija u kojoj se nalazi data centar u zimskom periodu ima potrebu za grejanjem površine od 1700 m². Ovde ćemo razmatrati da se potrebna toplota dobije korišćenjem otpadne toplote data centra, a ne putem daljinskog grejanja. Pretpostavićemo da je po svakom metru kvadratnom objekta potrebno okvirno $100 \frac{W}{m^2}$, dakle za potrebe grejanja ovog objekta bi nam trebala toplotna pumpa koja može da isporuči 170 kW toplotne energije. Spram ovih informacija ćemo dimenzionisati sistem toplotne pumpe, potrebna temperatura vode na izlazu iz toplotne pumpe treba da bude na 55°C koja će se koristiti u radijatorskom grejanju. Za ove potrebe sam izabrao austrijskog proizvođača Daikin a naziv modela je EWWT160QXSA1, toplotna pumpa je kao što je ranije spomenuto tipa voda-voda.

Iz tehničkih karakteristika [4] za gore navedeni model toplotne pumpe možemo da vidimo da je maksimalna količina koju toplotna pumpa može da isporuči 186,7 kW što je i više nego dovoljno za potrebe grejanja prostora kao i potrebe za toplom potrošnom vodom objekta. Potreba

kompresora za električnom energijom u režimu grejanja iznosi 42,53 kW. Kada podelimo ove dve vrednosti, odnosno isporučenu toplotnu energiju i utrošeni električnu energiju za kompresor dobijemo vrednost od 4,39 što predstavlja koeficijent učinka za ovaj model toplotne pumpe. Koeficijent učinka (eng. COP) zapravo predstavlja koliko smo jedinica toplotne energije dobili za jednu jedinicu električne energije. Protok vode za optimalan rad sa strane kondenzatora iznosi 8,92 l/s, dok sa strane isparivača iznosi 9,55 l/s. Ako pogledamo tehničke specifikacije jedne CRAC jedinice [5] koja se hladi vodom, slika 5.13. možemo da vidimo da je za model 3300.388 koji ima kapacitet hlađenja od 167 kW gde je temperatura vode 7°C /12°C, a protok vode iznosi 28,6 m³/h što kad se

pretvori u litre po sekundi iznosi 7,94 l/s. Iz ovoga može da se zaključiti da će protok vode sa strane isparivača biti dovoljan da snabde navedenu CRAC jedinicu hladnom vodom. Kao što je već rečeno temperatura vode sa strane kondenzatora će nam biti na 55 °C, dok ćemo polaznu i povratnu temperaturu vode (i glikola) koja će služiti kao rashladno sredstvo pretpostaviti na 10/15°C, koja će se dobijati sa strane isparivača u izmenjivaču toplote. Na slici 3 se može videti maskimalno pojednostavljen čitav sistem, kako bi bilo razvedeno grejanje i topla potrošna voda, kao i hlađenje data centra.



Slika 3. Šema sistema iskorišćenja toplote u data centru

$$Cena_{ukupno_{el}} = 7953€$$

4. KOMPARACIJA DVA SISTEMA

Dakle ako uzmemo, kao što smo prethodno rekli, da kompresor toplotne pumpe u režimu grejanja za rad zahteva 42,53 kW električne energije i ako to pomnožimo sa brojem sati rada pumpe, pretpostavićemo da pumpa u sezoni grejanja radi okvirno 1500 sati dobijamo sledeću vrednost:

$$Kompresor_{el} = 42,53kW * 1500 \text{ sati}$$

$$Kompresor_{el} = 63,8 MWh$$

Takođe u potrošnju električne energije treba da se uključi i potrošnja ventilatora u samoj CRAC jedinici to možemo pogledati na tehničkoj specifikaciji [5] i ona za naš model iznosi 5,64 kW, iz jednostavne računice možemo izračunati potrošnju ventilatora u sezoni grejanja:

$$Ventilator_{el} = 5,64 kW * 1500 \text{ sati}$$

$$Ventilator_{el} = 8,5 MWh$$

Ukupna količina potrošene električne energije, svakako u celokupnom sistemu postoji još dosta potrošača, ali mi ćemo samo razmatrati ova dva:

$$Ukupno_{el} = 8,5 MWh + 63,8 MWh$$

$$Ukupno_{el} = 72,3 MWh$$

Sada kada imamo ukupnu potrošenu električnu energiju za 1500 sati možemo izračunati koliko je novca utrošeno za to, cenu električne energije za privredu ćemo uzeti da iznosi 110€ [6] po MWh što dovodi do ukupne cene od:

$$Cena_{ukupno_{el}} = 72,3 MWh * 110€$$

Na kraju nam je ostalo da prethodni sistem uporedimo sa sistemom daljinskog grejanja, dakle prvo ćemo trebati da odradimo potrebne kalkulacije. Za cenu daljinskog grejanja ćemo uzeti vrednost od 85,5€ po MWh, dok broj sati grejanja ostaje isti kao i u prošlom slučaju 1500.

Ukupna količina potrošene električne energije za potrebe hlađenja data centra u slučaju kad se objekat greje putem daljinskog grejanja najviše zavisi od ventilatora u CRAC jedinici kao i ventilatora suvog hladnjaka, potrošnju ventilatora u CRAC jedinici imamo, fali nam još potrošnja ventilatora suvog hladnjaka, iz tehničke karakteristike [7] proizvođača kaltra koji bi pokrio potrebe za ovde razmatrani data centar možemo to lako da izračunamo:

$$Suvi hladnjak_{el} = 3,4 kW * 1500 \text{ sati}$$

$$Suvi hladnjak_{el} = 5,1 MWh$$

Sada lako možemo da izračunamo ukupnu utrošenu električnu energiju:

$$Ukupno_{el} = 8,5 MWh + 5,1 MWh$$

$$Ukupno_{el} = 13,6 MWh$$

Na osnovu prethodno dobijene ukupne količine električne energije možemo da izračunamo cenu električne energije:

$$Cena_{ukupno_{el}} = 13,6 MWh * 110€$$

$$Cena_{ukupno_{el}} = 1.496,5€$$

Potrebe za toplotnom energijom su sledeće:

Potrebe za toplotnom energijom

$$= 1700 \text{ m}^2 * 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1500 \text{ sati}$$

Potrebe za toplotnom energijom = 255 MWh

Sada kad imamo ukupne potrebe za toplotnom energijom možemo da izračunamo koliko bi novca bilo potrebno za to:

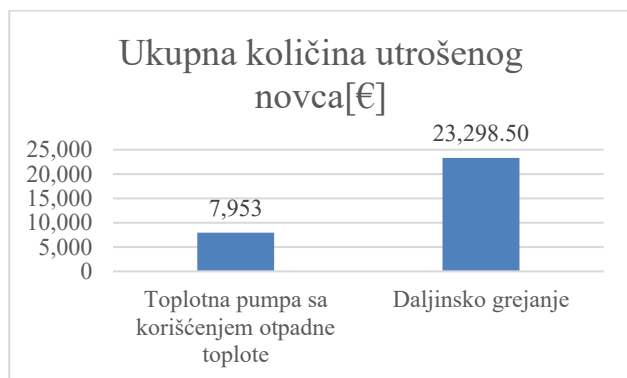
$$\text{Cena ukupno}_{te} = 255 \text{ MWh} * 85,5 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

$$\text{Cena ukupno}_{te} = 21.802,5 \text{ €}$$

Iz ovog možemo da izračunamo ukupnu količinu potrošenog novca potrebnog za hlađenje data centra i grejanje objekta kompanije:

$$\text{Cena ukupno} = 21.802,5 \text{ €} + 1.496,5 \text{ €}$$

$$\text{Cena ukupno} = 23.298,5 \text{ €}$$



Grafik 1. grafik komparacije dva sistema

Sa grafika 1. možemo da vidimo kako je najviše novca utrošeno u situaciji gde se objekat greje putem daljinskog grejanja, ali tu moramo da uzmemo u obzir da nije bilo potrebe za kapitalnim ulaganjem u sistem toplotne pumpe koji su inicijalno dosta visoki, međutim ako uzmemo u obzir ove vrednosti možemo reći da bi se investicija mogla isplatiti kroz nekoliko grejnih sezona gde bi nakon toga praktično imali dosta povoljnije cene grejanja. Sa tim da pored što štedimo novca koristimo otpadnu toplotu koja bi inače bila ispuštena u okolinu i bila neiskorišćena.

5. ZAKLJUČAK

Istraživanje je pokazalo da otpadna toplota koju generišu data centri može biti vredan resurs koji se može iskoristiti za grejanje zgrada, industrijske procese ili čak proizvodnju dodatne energije. Ovo predstavlja važan korak ka održivijim modelima upravljanja energijom, jer omogućava značajno smanjenje troškova i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu. Primeri uspešne primene ovih tehnologija u pojedinim zemljama ukazuju na to da je integracija sistema za ponovno korišćenje otpadne toplote moguća i da može postati standard u budućnosti. Prema tome, unapređenje energetske efikasnosti data centara, uključujući korišćenje otpadne toplote, predstavlja ključno rešenje za održiviju budućnost digitalne infrastrukture. Uloga inovacija i odgovarajućih politika u ovom procesu biće od suštinske važnosti za postizanje ovog cilja i za usklađivanje rasta digitalne ekonomije sa globalnim energetske i ekološkim zahtevima.

Ne samo da je integracija toplotne pumpe u jedan data centar moguća, već i poželjna imajući u vidu dobijene

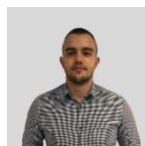
vrednosti. Većina kompanija koja su locirana u gradovima u zimskom periodu toplotnu energiju dobijaju putem daljinskog grejanja. Ako pogledamo objekat koji smo mi razmatrali u ovom radu na godišnjem nivou troškovi samo za grejanje iznose cca 21.802,5 €, što možemo se složiti nisu zanemarljivi troškovi, naravno na to trebamo da dodamo i troškove hlađenja data centra. Međutim, ove troškove je moguće značajno smanjiti, na početku bi bila zahtevana relativno visoka kapitalna ulaganja, koja bi kroz nekoliko godina naravno bila isplativa. Uzmimo za primer kombinaciju sistema toplotne pumpe, koji bi koristio otpadnu toplotu, i sistema hlađenja data centra. Ovde možemo da vidimo koliko bi novca na godišnjem nivou bilo sačuvano što bi iznosilo više od 60% ako uzmemo da se godišnje na električnu energiju troši cca 8.000€ a sistem daljinskog grejanja cca 23.000€. I upravo na ovom primeru možemo da vidimo potencijal toplotne pumpe u ovakvom sistemu, osim novca se smanjuje i karbonski otisak jednog data centra koji nije zanemarljiv, i koji će vremenom postajati sve veći.

Detaljnijom analizom cene razmatrane toplotne pumpe bi mogli dobiti tačan period otplate razmatranog sistema, međutim to nije bila tema ovog rada. Tema je bila da se prikaže mogućnost implementacije toplotne pumpe u jedan ovakva sistem i njena upotreba za iskorišćenje otpadne toplote. Kroz cifre je prikazan da je ovako nešto izvodljivo i da ima izuzetan potencijal koji bi trebao biti iskorišćen, i koji će verovatno u neposrednoj budućnosti biti iskorišćen zarad postizanja veće efikasnosti jednog data centra kao celine.

6. LITERATURA

- [1] Dgtl infra, Dostupno na: <https://dgtlinfra.com/data-center-cooling/> [Datum pristupa 16.08.2024].
- [2] Construct and commission, Dostupno na: <https://constructandcommission.com/what-is-a-crac-unit/> [Datum pristupa 24.08.2024].
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=WNOyBdWZNwE>
- [4] Daikin, Dostupno na: https://www.daikin-ce.com/en_us/product-group/commercial-heat-pumps/EWWT-Q-EWHT-Q-EWLT-Q.html
- [5] Rittal, Dostupno na: https://www.rittal.com/it-solutions/_CRAC.pdf
- [6] Balkan Green Energy Group, <https://balkangreenenergynews.com/rs/cena-struje-za-privredu-u-srbiji-od-1-maja-110-evra-po-mwh/>
- [7] Kaltra, <https://www.kaltra.com/products/dry-coolers/bora-dry-coolers>

Kratka biografija:



Gordan Grozdanić rođen je u Novom Sadu 1998. god. Završio je srednju Tehničku školu u Bečeju i osnovne akademske studije na Fakultetu Tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Čiste energetske tehnologije.

ENERGETSKA ANALIZA REKONSTRUKCIJE LEDENE DVORANE SPORTSKOG I POSLOVNOG CENTRA VOJVODINA**ENERGY ANALYSIS OF THE RECONSTRUCTION OF THE ICE RINK AT THE SPORTS AND BUSINESS CENTER VOJVODINA**

Mina Solaković, Igor Mujan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U uvodu rada najpre je prikazano trenutno stanje naučnih istraživanja koje se tiče ledenih dvorana i energetskog modelovanja. Prikazani su razlozi i ciljevi rada. U okviru sekcije metodologija, kratko je opisana konkretna ledena dvorana i dat je postupak modelovanja, uz osvrt na teorijsku osnovu programskog paketa koji je upotrebljen. Nakon toga, prikazani su rezultati simulacija, koji su upoređeni sa dostupnim podacima iz literature uz zaključke i buduće pravce istraživanja.

Ključne reči: energetska efikasnost, energetska rekonstrukcija, energetsko modelovanje, ledena dvorana

Abstract – First, the paper presents the current state of scientific research related to ice rinks and energy modeling with the outlined motivations and objectives of the study. Within the methodology section, a brief description of the specific ice rink is provided, along with the modeling procedure, including a discussion of the theoretical foundation of the software package used. Subsequently, the simulation results are presented and compared with data available in literature. Finally, the paper summarizes the key findings and examines future research directions.

Keywords: energy efficiency, energy retrofit, energy modeling, ice rink

1. UVOD

Klimatske promene i globalno zagrevanje predstavljaju ozbiljan izazov, a ključnu ulogu u njihovom ublažavanju imaju smanjenje potrošnje energije, povećanje energetske efikasnosti i korišćenje obnovljivih izvora. S obzirom na to da zgrade troše oko 40% globalne finalne energije, sektor zgradarstva ima poseban značaj. Iako klizališta čine mali udeo u ukupnom građevinskom fondu, njihova potrošnja energije je i do tri puta veća od one u tipičnim poslovnim objektima, što opravdava potrebu za ciljanom analizom njihove energetske efikasnosti [1], [2].

Uprkos napretku u oblasti energetske efikasnosti zgrada, ledene dvorane zahtevaju poseban pristup zbog svoje tehničke složenosti i specifičnih procesa. U njima funkcioniše više različitih tehničkih sistema, od kojih su neki izuzetno energetski zahtevni.

Ova kompleksnost ogleda se i u stručnoj literaturi, koja,

iako ograničena po broju radova u poređenju s drugim tipovima objekata, pokriva širok spektar tema: od sistema za održavanje ledene piste [2], uticaja infiltracije [3], uticaja obnavljanja ledene površine na kvalitet vazduha [4] i distribucije vazduha pomoću ventilacionog sistema [5], do modelovanja celokupnih sistema u ledenim dvoranama [6], [7].

Predmet ovog rada je ledena dvorana sportskog i poslovnog centra Vojvodina (SPENS), koji je izgrađen pre više od 40 godina. Objekat i sistemi u njemu su redovno održavani, ali nikada nisu rekonstruisani, tako da se u budućnosti planira sanacija celog objekta, uključujući i ledenu dvoranu [8].

Cilj ovog rada je da se primenom energetskog modelovanja izvrši analiza energetskih karakteristika ledene dvorane SPENS-a, kao i uticaja primene različitih mera na poboljšanje energetske efikasnosti. Takva analiza pruža uvid u potencijalne uštede energije koje se mogu ostvariti na klizalištima putem adekvatnog sprovođenja mera za poboljšanje energetske efikasnosti.

2. METODOLOGIJA

Za izradu energetskog modela korišćen je programski paket OpenStudio, koji se zasniva na EnergyPlus-u. Program je u osnovi baziran na metodi toplotnog bilansa. Važno je naglasiti da model ne uzima u obzir sistem za održavanje ledene piste, iz razloga što programski paket ne sadrži modul koji bi mogao da se upotrebi u te svrhe.

2.1. Karakteristike ledene dvorane

Prema literaturi [8], SPENS predstavlja sportsko-kulturni kompleks i jedan je od najvećih objekata te vrste u regionu. Podeljen je na tri međusobno povezana bloka: A, B i C. Zatvoreno klizalište je deo bloka B.

Kompleks praktično funkcioniše neprekidno, 24 sata dnevno, 7 dana u nedelji, pri čemu je za javnost otvoren od 08:00 do 24:00. Klizalište radi u periodu od 1. oktobra do 30. aprila.

Zatvoreno klizalište obuhvata površinu od 2.730 m² i raspolaže tribinama kapaciteta 1.283 + 340 sedišta.

Kompleks se snabdeva toplotnom energijom iz sistema daljinskog grejanja Grada Novog Sada, koji je u funkciji od 1979. godine. U kompleksu postoje tri glavne toplotne podstanice (TP1, TP2, TP3), po jedna za svaki blok, odakle se toplota dalje distribuira do potrošača preko sekundarnih podstanica.

Podstanica TP1 snabdeva 30 sistema, među kojima se nalaze i sistemi u okviru ledene dvorane: klima sistem iznad ledene piste, zagrevanje temelja, klima sistem u holu

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Mujan, docent

između ledene i male dvorane, klima sistem na tribinama ledene dvorane i dr. Takođe, sastavni deo sistema klimatizacije su i rotacioni rekuperatori koji značajno poboljšavaju energetska efikasnost čitavog sistema, uz mogućnost upotrebe kako osetne tako i latentne toplote sadržane u izbacnom vazduhu.

Sistem za klimatizaciju vazduha koristi centralizovano pripremljenu hladnu vodu temperature 7/12 °C. Rashladni sistem radi na principu parno-kompresorske tehnologije sa četiri vijčana kompresora i napaja se električnom energijom.

2.2. Metoda toplotnog bilansa

Metoda toplotnog bilansa (HBM) je ASHRAE-ova metoda za izračunavanje toplotnih dobitaka i gubitaka. Tako je nazvana jer se bazira na jednačinama toplotnog bilansa za vazduh u prostoriji, kao i za unutrašnju i spoljašnju površinu pregrade koja odvaja prostoriju od okoline. U odnosu na ostale metode koje se koriste u ovu svrhu, metoda toplotnog bilansa je najfundamentalnija i najsloženija, pa je s obzirom na to, neophodno korišćenje softverskih alata za njenu primenu [9].

Prema literaturi [10], osnovni procesi koji se posmatraju pri primeni metode toplotnog bilansa mogu se podeliti na četiri zasebne celine: toplotni bilans spoljne površine pregrade, proces kondukcije kroz pregradu, toplotni bilans unutrašnje površine pregrade, toplotni bilans vazduha u prostoriji.

Zbog svoje fundamentalne prirode metoda toplotnog bilansa zahteva mnogo dublje poznavanje termičke zone na koju se primenjuje.

Što se tiče uopštenih podataka, zbog proračuna koji uključuju sunčevo zračenje neophodno je poznavanje prostornih i vremenskih odrednica lokacije, orijentacije termičke zone u prostoru, kao i njene visine od poda do poda. Takođe, ako postoji namera da se spoljašnji koeficijent prelaza toplote smatra promenljivim, potrebno je poznavati pravac i brzinu vetra, kao i hrapavost terena. Obično ove karakteristike imaju neke predodređene vrednosti, ali postoji mogućnost njihove promene.

S obzirom da zidovi učestvuju u tri fundamentalna procesa koji su deo metode toplotnog bilansa, potrebno je poznavati veliki broj njihovih karakteristika. Što se tiče staklenih površina, slično kao i sa zidovima, zahtevaju poznavanje većeg broja parametara, a naročito zbog njihovog uticaja na solarne dobitke toplote.

Što se tiče dobitaka toplote od unutrašnjih izvora, u termičkoj zoni može da postoji više vrsta unutrašnjih izvora: ljudi, osvetljenje, električni uređaji, infiltracija. Toplotni dobitci od infiltracije se mogu odmah uvrstiti u toplotni bilans vazduha u prostoriji. Što se tiče drugih izvora, za njih je neophodno poznavanje određenih karakteristika.

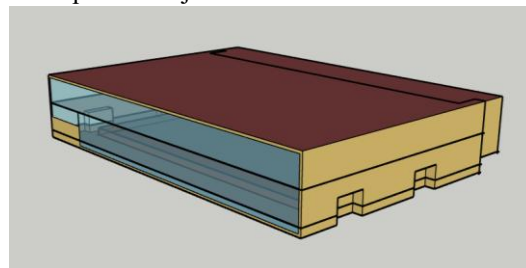
2.3. Priprema modela

Iz razloga što nacionalna regulativa ne uzima u obzir specifičnosti ledenih dvorana, za definisanje uslova termičkog komfora u različitim zonama klizališta korišćene su smernice Međunarodne hokejaške federacije (IIHF). Prema njima, temperatura vazduha do visine od 1,5 m iznad ledene piste treba da iznosi 6 °C, dok se za prostor tribina preporučuje raspon od 10 do 15 °C. Površinska temperatura leda treba da bude između -3 °C i -5 °C.

Preporučena relativna vlažnost vazduha je ispod 70%, kako bi se sprečila pojava magle u zoni glava klizača, kao i pojava buđi i korozije. Takođe se preporučuje da klimatizacioni sistemi koji opslužuju ledenu pistu i tribine budu razdvojeni, što je u skladu s postojećim rešenjem u ledenoj dvorani SPENS-a. Sve smernice odnose se na male ledene dvorane, prema klasifikaciji IIHF-a, u koje spada i klizalište na SPENS-u [11].

Objekat se nalazi u Novom Sadu, tako da su u toku modelovanja upotrebljeni dostupni klimatski podaci u odgovarajućem formatu.

Geometrija je definisana prema dostupnim tehničkim crtežima i prikazana je na slici 1.



Slika 1. Prikaz geometrije objekta

Iako čitav prostor dvorane u realnosti predstavlja jednu celinu, upotrebom "vazдушnih zidova" moguće je pretpostaviti različite uslove u ovim oblastima i na taj način povećati tačnost simulacije. Prostor dvorane podeljen je na 5 oblasti (Tabela 1.).

Tabela 1. Pregled termičkih zona u objektu

Naziv zone	Opis zone	Zadata temperatura
Termička zona 1	Tribine	15 °C
Termička zona 2	Prostor iznad ledene piste, do visine od 1,5 m	6 °C
Termička zona 3	Prostor oko ledene piste, u istoj visini kao zona 2	6 °C
Termička zona 4	Prostor iznad zona 2 i 3	15 °C
Termička zona 5	Prostor iznad zone 4	15 °C

Konstrukcije elemenata građevinske fizike su definisane na osnovu dostupnih podataka.

Konstrukcija poda prvobitno je definisana prema preporukama IIHF-a, ali je, usled problema u modeliranju ledene piste, morala biti iskorišćena kao deo inženjerskog rešenja tog problema. Zbog ograničenja programskog paketa, karakteristike površine leda, posebno temperaturu, nije bilo moguće direktno zadati. Problem je prevaziđen korišćenjem opcije za proizvoljno zadavanje temperature tla, koja je postavljena na -5 °C. Konstrukcija poda ispod piste modelovana je sa visokim koeficijentom prolaza toplote, dok je pod oko piste definisan tako da ima izuzetno nizak koeficijent, čime je simulirana temperatura površine leda od -4,8 °C, a temperatura poda oko piste u rasponu od 4 °C do 15 °C, što se smatra prihvatljivim za potrebe simulacije.

Kako ne postoji zvaničan raspored upotrebe ledene dvorane na SPENS-u, za potrebe simulacije on je pretpostavljen na osnovu dostupnih podataka.

Što se tiče boravka ljudi, definisani su odvojeni rasporedi za ledenu pistu i za prostor tribina. Pretpostavljeno je da se

hokejaške utakmice održavaju tri puta nedeljno, u sezoni od oktobra do aprila, u terminu od 18:30 do 20:30 časova, dok se treninzi odvijaju četiri puta nedeljno, od 14:30 do 16:30 časova. Tokom utakmica, na tribinama se nalazi 1.600 gledalaca. Na ledu je svakog dana prisutno 80 osoba u periodu od 09:00 do 21:00 čas, pri čemu njihova aktivnost zavisi od toga da li je u pitanju utakmica, trening ili termin za rekreativno klizanje. Pretpostavljena specifična metabolička snaga iznosi 270 W/č za hokejaše, 190 W/č za rekreativne klizače i 125 W/č za publiku [12]. Rasveta radi svakodneвно od 08:00 do 22:00 časa, sa snagom od 12 W/m² za treninge i rekreativne termine, odnosno 150 W/m² za vreme utakmica. Infiltracija je modelovana korišćenjem postojećih definicija iz biblioteke softverskog paketa OpenStudio za prostore koji se koriste kao skladišta [8].

Prema preporukama IIHF-a definisani su termostati, da bi se temperatura u termičkim zonama 2 i 3 održavala na 6 °C, a u ostalim zonama na 15 °C. Takođe su definisani higrostat i za kontrolu vlažnosti vazduha. Za zone 2 i 3 relativna vlažnost se održava na 65%, a za ostale zone na 60%.

Kao što je prethodno navedeno, klizalište ima dva odvojena klimatizaciona sistema koji opslužuju tribine i prostor iznad ledene piste. U modelu su predstavljena dva identična sistema sa promenljivim protokom vazduha i dogrevanjem u zoni, čiji su grejači i hladnjaci povezani na zajednički grejni i rashladni krug. U sastav klimatizacionog sistema uključeni su i rotacioni rekuperatori vazduha.

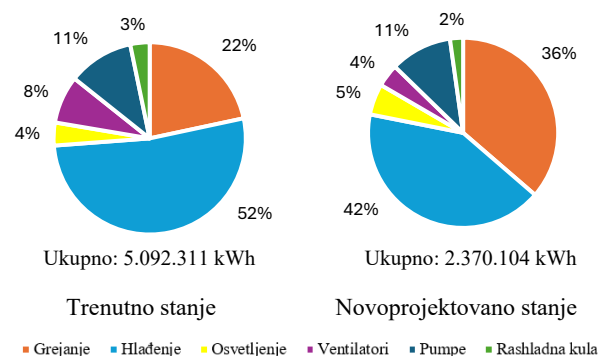
Odvlaživanje je rešeno postavljanjem odvlaživača u svaku termičku zonu, koji održavaju relativnu vlažnost u skladu sa preporukama. Iako se objekat trenutno koristi od oktobra do aprila, simulacija je sprovedena za celu godinu, s obzirom na planirano celogodišnje korišćenje nakon rekonstrukcije.

U novoprojektovanom stanju planirana je izgradnja nove sportske dvorane ispred jugozapadne fasade, zbog čega je geometrija klizališta izmenjena u skladu sa dostupnom tehničkom dokumentacijom. Predviđena je energetska sanacija građevinskog omotača celog objekta, povećanje zaptivenosti, što podrazumeva smanjenje infiltracije za 50%, kao i zamena postojeće rasvete LED sistemima, gde je pretpostavljena snaga od 8 W/m² za treninge i građanske smene i 35 W/m² za utakmice [8]. U vezi klimatizacionih sistema, jedino unapređenje odnosi se na ugradnju novih rotacionih rekuperatora, uz pretpostavljenu efikasnost od 85%.

3. REZULTATI

Upoređivanjem ukupne godišnje potrošnje energije utvrđeno je da novoprojektovano stanje rezultira smanjenjem sa 3.097,4 MWh/god. na 1.615,6 MWh/god, što predstavlja smanjenje godišnje potrošnje od 48%. Pored toga, specifična potrošnja energije, značajna za uporednu analizu sa objektima slične namene, iznosi 918 kWh/m²/god. u trenutnom i 479 kWh/m²/god. u novoprojektovanom stanju, pri ukupnoj površini ledene dvorane od 3.374 m². Iako sistem za održavanje ledene piste nije direktno uključen u model, radi potpunijeg prikaza ukupne energetske potrošnje izvršena je aproksimacija na osnovu literature [11], prema kojoj ovaj

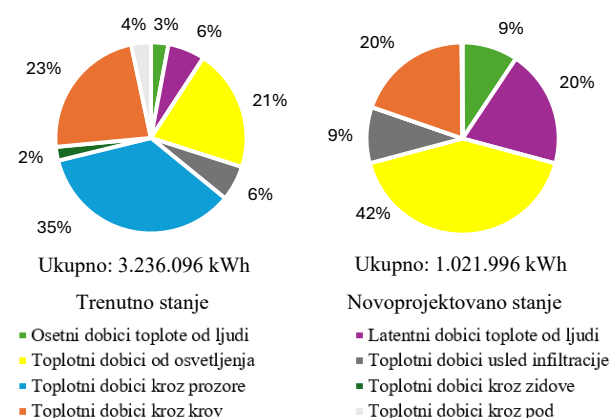
sistem koristi više od 50% ukupne električne energije. U skladu s tim, potrošnja je uključena u dijagram raspodele krajnje potrošnje energije (Slika 2.) pod kategorijom hlađenja. Zaključuje se da raspodela energije u novoprojektovanom stanju ostaje slična postojećem, uz manja odstupanja.



Slika 2. Potrošnja energije ledene dvorane prema krajnjoj upotrebi

Razlika u raspodeli energije između grejanja i hlađenja proističe iz odsustva toplotnih dobitaka kroz staklene površine u novoprojektovanom stanju. To dovodi do manjih potreba za hlađenjem i većih potreba za grejanjem. Ukupni toplotni dobitci na godišnjem nivou u trenutnom stanju iznose 3.236 MWh, dok za novoprojektovano stanje iznose 1.022 MWh. Sledi da je postignuto smanjenje toplotnih dobitaka za 68%, što predstavlja značajno umanjeње.

Na slici 3. upoređena je raspodela toplotnih dobitaka po vrstama za trenutno i novoprojektovano stanje. Može se uočiti da najveći udeo toplotnih dobitaka u trenutnom stanju potiče od prolaza toplote kroz prozore i krov, kao i od osvetljenja. Što se tiče novoprojektovanog stanja, kako prozori na fasadi više ne postoje, dominantne vrste dobitaka ostaju osvetljenje i prolaz toplote kroz krov. Pored ovih dobitaka, do izražaja dolaze i dobitci od ljudi koji borave u prostoru i to u većem procentu latentni dobitci.



Slika 3. Toplotni dobitci prema vrstama

U nastavku rada rezultati koji su dobijeni simulacijama i prikazani u prethodnom delu rada biće upoređeni sa drugim dostupnim podacima koji opisuju objekte iste namene.

Pregledom literature pronađeni su podaci o potrošnjama ledenih dvorana širom sveta i sumirano su prikazani u tabeli 2. Za potrebe poređenja rezultata simulacije sa prikazanim podacima u nastavku poglavlja, potrošnja

električne energije je uvećana za 50%, kao što je ranije objašnjeno. Može se zaključiti da je trenutna potrošnja ledene dvorane na SPENS-u značajno veća od prosečnih potrošnji sličnih objekata u svetu, međutim u novoprojektovanom stanju potrošnja bi trebalo dovoljno da se smanji tako da se ledena dvorana može uvrstiti u prosečne po svojoj potrošnji.

Tabela 2. Poređenje prosečne potrošnje sa rezultatima simulacije

	Toplotna energija [kWh/m ² /god.]	Električna energija [kWh _e /m ² /god.]	Ukupno [kWh/m ² /god.]
Kvebek, Kanada [13]	-	-	250 - 760
Švedska [14]	-	-	400
Procene istraživača iz Boldera, SAD [2]	-	-	750
Istanbul, Turska (konkretno klizalište) [15]	271	474	745
Simulacija, trenutno stanje	327	1.182	1.509
Simulacija, novoprojektovano stanje	253	452	705

4. ZAKLJUČAK

Analiza pokazuje da novoprojektovano stanje omogućava 48% manju godišnju potrošnju energije u poređenju s postojećim stanjem, što predstavlja značajnu uštedu. Najveći doprinos ima uklanjanje velikih staklenih površina na jugozapadnoj fasadi. Gubici toplote u novoprojektovanom stanju smanjeni su za 68%, a dobitke toplote većim delom čine osvetljenje i prisutni korisnici, za razliku od ranije dominantnih spoljašnjih uticaja. Zaključuje se da je postojeće stanje ledene dvorane na SPENS-u energetski neefikasno, ali primenom predloženih mera moguće je smanjiti potrošnju na nivoe koji dostižu gornje granice prosečnih vrednosti.

S obzirom na ograničenja ovog rada, buduća istraživanja bi najpre uključivala poboljšanje modela klizališta kroz modeliranje sistema za održavanje ledene piste, što bi bilo moguće ostvariti programiranjem novog modula u okviru OpenStudio-a ili upotrebom nekog drugog softverskog paketa koji ima takve mogućnosti. Nakon toga, radi validacije i kalibracije modela bilo bi neophodno prikupiti realne podatke o potrošnji energije i uslovima komfora u klizalištu putem primene mernih tehnika. Pored toga, upotrebom CFD metoda za modeliranje bilo bi moguće prikupiti podatke neophodne za poboljšanje rezultata energetskog modela, najviše na polju infiltracije i razmene toplote između različitih termičkih zona u objektu.

5. LITERATURA

- [1] European Council, „European Council - Fit for 55 - Buildings“, <https://www.consilium.europa.eu>. Приступљено: 14. Мај 2025. [На Интернету]. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
- [2] J. Mun и M. Krarti, „An ice rink floor thermal model suitable for whole-building energy simulation analysis“,

Build Environ, том 46, изд. 5, стр. 1087–1093, Мај 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.11.008.

- [3] J. T. Lin и Y. K. Chuah, „Prediction of infiltration rate and the effect on energy use for ice rinks in hot and humid climates“, *Build Environ*, том 45, изд. 1, стр. 189–196, Јан. 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.06.001.
- [4] C. Yang, P. Demokritou, Q. Chen, и J. Spengler, „Experimental Validation of a Computational Fluid Dynamics Model for IAQ applications in Ice Rink Arenas“, *Indoor Air*, том 11, изд. 2, стр. 120–126, 2001.
- [5] M. Taebnia, S. Toomla, L. Leppä, и J. Kurnitski, „Air distribution and air handling unit configuration effects on energy performance in an air-heated ice rink arena“, *Energies (Basel)*, том 12, изд. 4, Феб. 2019, doi: 10.3390/en12040693.
- [6] L. Seghouani, A. Daoud, и N. Galanis, „Prediction of yearly energy requirements of indoor ice rinks“, *Energy Build*, том 41, изд. 5, стр. 500–511, Мај 2009, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.11.014.
- [7] A. Palmowska и B. Lipska, „Experimental study and numerical prediction of thermal and humidity conditions in the ventilated ice rink arena“, *Build Environ*, том 108, стр. 171–182, Нов. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.08.024.
- [8] K. Theofylaktos и остали, „Energetska procena i pregled aranžmana za izvođenje EE rekonstrukcije SPENS-a“, Novi Sad, Дец. 2019.
- [9] S. J. Rees, J. D. Spitler, M. G. Davies, и P. Haves, „Qualitative comparison of North American and U.K. Cooling load calculation methods“, *HVAC and R Research*, том 6, изд. 1, стр. 75–99, 2000, doi: 10.1080/10789669.2000.10391251.
- [10] *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. Peachtree Corners, Georgia, USA: ASHRAE, 2021.
- [11] „IIHF ICE RINK GUIDE“, Апр. 2016.
- [12] B. Todorović, *KLIMATIZACIJA*, Треће изданје. Beograd: SMEITS, 2009.
- [13] L. Nichols, „Improving Efficiency In Ice Hockey Arenas“, *ASHRAE Journal*, том 51, Atlanta, Georgia, USA, стр. 16–20, Јуни 2009.
- [14] M. Karampour, „MEASUREMENT AND MODELLING OF ICE RINK HEAT LOADS“, Master of Science Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2011.
- [15] H. Sunnetci и D. Yilmaz, „Investigation on Energy Consumption of an Olympic Ice Rink and Sports Facility“, *Tecnica Italiana-Italian Journal of Engineering Science*, том 65, изд. 1, стр. 113–118, Мај 2021, doi: 10.18280/ti-ijes.650117.

Kratka biografija:



Mina Solaković рођена је у Новом Саду 1999. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Енергетика и процесна техника одбранила је 2022. год. Од 2023. год. је запослена у званју сарадника у настави, на Катедри за тоplotну технику, Департаман за енергетику и процесну технику. контакт: solakovicmina@uns.ac.rs



Docent dr Igor Muja рођен је у Новом Саду 1987. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2021. године. Од 2022. године је у запослен у званју доцента, на Катедри за тоplotну технику, Департаман за енергетику и процесну технику.

БИДИРЕКЦИОНА ОПТИЧКА КОМУНИКАЦИЈА КРОЗ ЈЕДНО ОПТИЧКО ВЛАКНО

BIDIRECTIONAL OPTICAL COMMUNICATION THROUGH A SINGLE OPTICAL FIBER

Драгана Драшковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду реализована је бидирекциона оптичка комуникација кроз једно оптичко влакно, чиме је остварен симултани пренос сигнала са обе стране система. Извршена су мерења оптичке снаге, брзине преноса података, BER (енг. Bit Error Rate), одзив детектора TSL14-SM и TSL257, као и слурејта (енг. Slew Rate) операционог појачавача. Електричне шеме и дизајн PCB плоче урађени су у програму Altium Designer.

Кључне речи: Оптикелектроника, бидирекциона оптичка комуникација, оптичко влакно, LED предајници, фотодетектори.

Abstract – In this work, bidirectional optical communication was implemented through one optical fiber, which achieved simultaneous signal transmission from both sides of the system. Optical power, data transfer rate, BER (Bit Error Rate), response of TSL14-SM and TSL257 detectors, as well as Slew Rate of the operational amplifier were measured. The electrical schematics and design of the PCB board were done in Altium Designer.

Keywords: Optoelectronics, bidirectional optical communication, optical fiber, LED transmitters, photodetectors.

1. УВОД

Бидирекциона оптичка комуникација преко једног оптичког влакна омогућава пренос сигнала у оба смера, чиме се оптимизује коришћење ресурса и смањују трошкови мреже. Ова техника користи се како би се омогућио симултани пренос података у оба смера у једном оптичком влакну, што је корисно за телекомуникационе мреже и системе за пренос података на даљину. Предности бидирекционе оптичке комуникације се огледају у ефикаснијој употреби оптичких влакана и мањим трошковима инфраструктуре, јер је потребно само једно оптичко влакно за пренос у оба смера, као и смањење латенције у односу на коришћење засебних влакана за сваки смер. Главни циљеви рада укључују пројектовање и имплементацију бидирекционог оптичког система, оптимизацију анализа перформанси, евалуацију компоненти, експерименталну верификацију, повезивање са рачунарима, документацију и препоруке за будући рад.

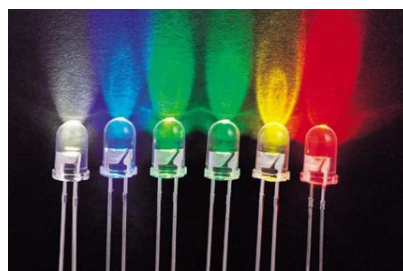
НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Бранислав Батинић, доцент.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1 Историјски развој LED предајника

Историја настанка светлећих LED (енг. Light-emitting-diode) предајника обухвата развој кроз неколико деценија, током којих су научници истраживали и унапређивали технологију која данас омогућава ефикасну светлост у многим применама, од осветљења до дисплеја и телекомуникација. Разумевање принципа који стоји иза LED технологије започело је раније него што су сами LED предајници били изумљени. Први практични светлећи предајник у видљивом делу спектра, црвени, развио је 1962. године Ник Холоњак. Он је користио галијум-арсенид-фосфид (GaAsP) за стварање црвене светлости када струја пролази кроз предајник, због чега се често назива „оцем LED”. Развој LED представља кључну прекретницу у области оптоелектронике и оптичких комуникација. Од првих открића електролуминесценције почетком 20. века, па до развоја савремених, високоефикасних LED предајника, технологија је прешла дуг пут. Захваљујући иновацијама у области полупроводника и напорима научника, LED предајници постали су кључне компоненте савремених технологија осветљења и визуелних комуникација обликујући свет у којем живимо. На слици 1 приказани су LED предајници различитих таласних дужина.

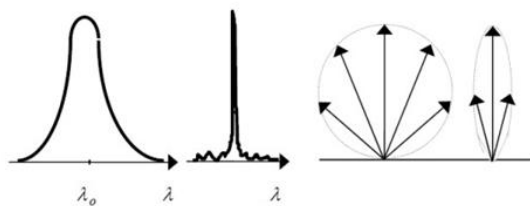


Слика 1. LED предајници различитих таласних дужина

2.2 Технологије и компоненте

Оптичка комуникација један је од најважнијих технолошких напредака модерног доба, омогућавајући пренос информација путем светлосних сигнала кроз оптичка влакна. Ова технологија лежи у срцу глобалних телекомуникација, омогућавајући брз пренос података на велике удаљености уз минималне губитке. Прва кључна компонента у оптичкој комуникацији је оптички предајник. Предајник је одговоран за претварање електричних сигнала у светлосне сигнале који се преносе кроз оптичка влакна.

Главне изворе светлости у оптичким телекомуникацијама представљају оптоелектронски полупроводнички елементи као што су светлеће LED и ласерске диоде. На слици 2 приказани су упоредни дијаграми ширине спектра и просторног зрачења за LED и ласерску диоду.



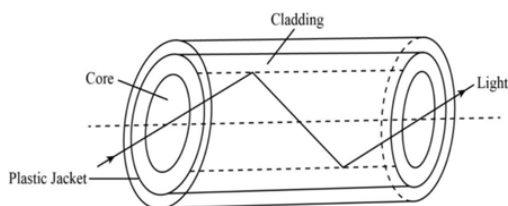
Слика 2. Упоредни дијаграми LED и ласерске диоде [1]

Следећу кључну компоненту у оптичким комуникацијама чине оптички пријемници, чија је главна компонента фотодетектор. Они конвертују светлосне сигнале у употребљиве електричне сигнале, који се затим обрађују и користе. Поред оптичких влакана, извора и детектора светлости, оптички комуникациони системи подразумевају употребу многих других компонената, као што су оптички појачавачи и атенуатори, оптички модулатори, компензатори дисперзије, оптички спрежници (рачве), оптички мултиплексери и демултиплексери сигнала, оптички филтри, оптички изолатори и циркулатори, оптичке компоненте за изједначавање појачања, поларизациони контролери итд. У савременим оптичким комуникационим мрежама ове компоненте се користе за манипулацију и обраду оптичког сигнала [2, 4].

3. ОПТИЧКА КОМУНИКАЦИЈА И КОМПОНЕНТЕ

3.1 Основни принципи оптичке комуникације

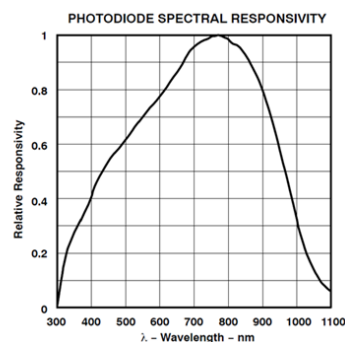
Оптична влакна представљају кључну технологију модерних комуникационих система. У срцу ове технологије лежи фасцинантан физички феномен који подразумева пренос светлости кроз танко оптичко влакно израђено од стакла или пластике. Главни принцип на којем се заснива пренос светлости кроз оптичка влакна је тотална унутрашња рефлексија, која омогућава да светлост остане заробљена унутар влакна и путује кроз њега великим брзинама са минималним губицима сигнала. Оптичка влакна представљају цилиндричне структуре (таласоводе) који се састоје од неколико кључних делова, односно концентричних слојева. Неопходно је да слојеви имају различит индекс преламања и да је индекс преламања језгра већи од индекса преламања омотача, што представља услов за појаву тоталне унутрашње рефлексије [3]. На слици 3 приказан је пренос светлости кроз оптичко влакно.



Слика 3. Пренос светлости кроз оптичко влакно

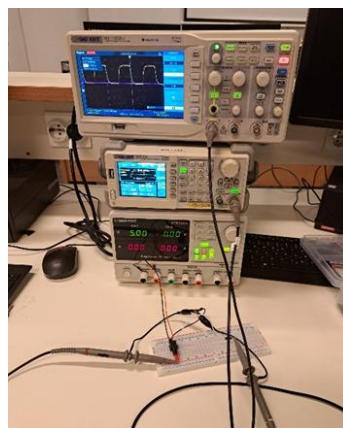
3.2 Физичке карактеристике компоненти

USB-to-serial FT232RL је популаран конвертер који је развила компанија FTDI (енг. *Future Technology Devices International*) који претвара сигнале са серијског интерфејса у USB формат и обрнуто. Ова функционалност омогућава уређајима са серијском комуникацијом да комуницирају са модерним рачунарима који често немају серијске портове. LED предајници представљају један од кључних елемената у савременим оптичким комуникационим системима. Они омогућавају конверзију електричног сигнала у светлосни талас, који се даље преноси кроз оптичко влакно до пријемника и морају бити усклађени са карактеристикама пријемне фотодетекторске јединице. Фотодиода детектује светлосне сигнале и конвертује их назад у електрични сигнал, који се даље појачава и обрађује. BPW34 је класична фотодиода која захтева трансимпедансно појачање, док TSL14-SM директно даје напон. Графикон представљен на слици 4 приказује релативни спектрални одзив детектора TSL14-SM у функцији таласне дужине.



Слика 4. Релативни спектрални одзив детектора TSL14-SM у функцији таласне дужине

У контексту бидирекционе комуникације кроз једно оптичко влакно, коришћење LED извора са таласним дужинама у опсегу у којем фотодетектор има најизраженију осетљивост (око 700 nm) требало би да обезбеди најбољи квалитет преноса и најмање губитке. На слици 5 приказана је поставка која омогућава тестирање максималне брзине у виду учестаности прекидања светлосних импулса које детектор може да региструје на свом излазу без значајних изобличења са фотодетекторима TSL14-SM и TSL257.



Слика 5. Поставка за мерење сигнала са фотодетекторима TSL14-SM и TSL257

Тестирањем се дошло до закључка да будући да TSL257 има изузетно велик отпорник у интегрисаном трансимпедансном појачавачу (који је реда око 320 MΩ), одзив није могао прећи брзине комуникације реда пар десетина kHz, што је у складу са очекивањима. Код TSL14-SM тај отпорник је мањи, реда 5 MΩ и запажа се да одзив детектора нема изобличења сигнала до 256 kbps.

Трансимпедансни појачавач је електронска компонента која претвара мали струјни сигнал, обично из фотоосетљиве компоненте као што су фотодиоде, у пропорционални напон. Овај тип појачавача се користи у многим оптичким комуникационим системима, сензорским апликацијама и системима за мерење, где се обрађују врло мали струјни сигнали [3].

Операциони појачавач је високо осетљива електронска компонента која се користи за појачање напонских сигнала у разним апликацијама, од једноставних појачавача до сложених аналогних кола.

Компаратор у систему детектује прелаз напонског сигнала изнад или испод задатог прага и даје дигитални излаз. Он игра кључну улогу у претварању аналогног сигнала из фотодетектора или појачавача у дигитални облик, погодан за микроконтролер или серијску комуникацију.

3.3 Оптичко влакно

Оптичка влакна представљају цилиндричне структуре, односно таласоводе, који се састоје од два концентрична слоја. Унутрашњи слој назива се језгро, а спољашњи омотач. Ови слојеви су начињени од стакла или пластике, а некада и од њихових комбинација. Као услов за појаву тоталне унутрашње рефлексије неопходно је да слојеви имају различите индексе преламања и да је индекс преламања језгра већи од индекса преламања омотача. Омотач се у циљу заштите пресвлачи слојем полиетилена који има улогу примарне заштите. Пластична оптичка влакна представљају важан део модерне технологије преноса података, али и осветљења и сензорских апликација. У овој области, мултимодна пластично оптичко влакно (POF) пречника 2 mm игра кључну улогу због својих специфичних особина и способности које га чине посебно погодним за одређене апликације. Мултимодно пластично оптичко влакно пречника 2 mm је иновативно и изузетно корисно решење у свету оптичких комуникација, сензорике и осветљења. Његове кључне предности укључују флексибилност, отпорност на ударце, савијање и хабање, једноставност у инсталацији и одржавању, као и ниже трошкове у поређењу са стакленим влакнима. Иако није идеално за дугодометне и високо-брзинске апликације, његова свестраност чини га савршеним избором за специфичне индустријске и комерцијалне потребе на краћим удаљеностима [3].

4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ СИСТЕМА

4.1 Блок шема система

На слици 6 приказана је блок шема читавог система.



Слика 6. Блок шема система

4.2 Предајник

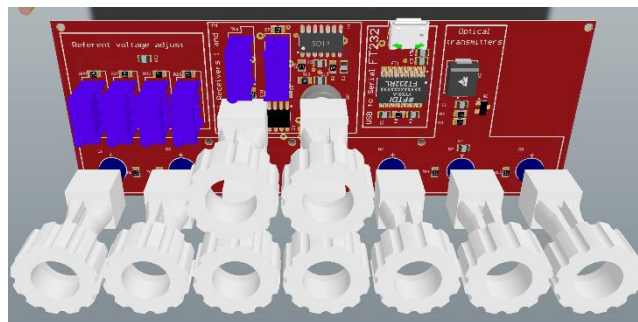
На предајном модулу налази се BC847C NPN транзистор, седам LED извора, шотки диода (енг. *Shottkey*), убрзавајући кондензатор и отпорници.

4.3 Пријемник

Пријемно коло се састоји од фотодиоде, трансимпедансног појачавача, операционог појачавача и компаратора.

5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА

Комплетне електричне шеме и штампана плоча PCB (енг. *Printed Circuit Board*) модула неопходних за реализацију овог мастер рада израђене су у програмском пакету Altium Designer. На слици 7 приказана је PCB плоча.



Слика 7. PCB плоча

Систем је симетричан, састоји се од два идентична блока система, где су оба блока у стању да врше примопредају преко једног оптичког влакна. Након што се преко USB комуникације сигнал пренесе са рачунара на предајно коло, сигнал се у виду светлости преноси преко оптичке рачве и путем једног пластичног оптичког влакна на пријемну страну, где се сигнал даље обрађује и опет путем серијске комуникације прослеђује на други рачунар.

5.2 Повезивање са рачунарима

У свету технологије, развој савремених рачунара непрекидно тежи ка уклањању старих, физичких интерфејса, као што је RS232 серијски порт, који је некада био стандард за комуникацију са многим уређајима. Међутим, серијски порт је и даље широко заступљен у индустријским системима, микроконтролерима, сензорским уређајима, телекомуникацијама и у бројним наслеђеним системима. Да би се премостио јаз између застарелих серијских уређаја и модерних рачунара, FT232RL

USB-to-serial конвертер нуди једноставно и ефикасно решење.

5.3 Софтверска подршка

Terminal.exe апликација је због своје једноставности искоришћена за тестирање брзине комуникације, а Docklight.exe апликација за тестирање BER-а због могућности преноса велике количине података.

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД

6.1 Испитивање делова оптичког система

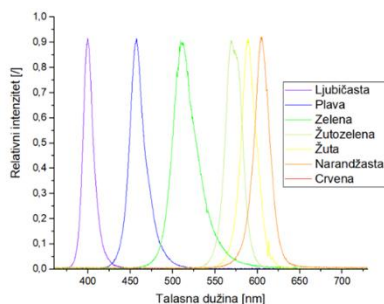
Извршене анализе:

Идентификација вршне таласне дужине: Проналажење вршне вредности на спектралним кривама LED извора за сваку поставку (LED директно, LED + влакно, LED + влакно + рачва).

Померање вршне таласне дужине: Упоредивање вршних таласних дужина између различитих поставки како би се квалификовало померање.

Визуелизација: Графичко представљање промене вршне таласне дужине.

На слици 8 приказан је график са свим LED изворима (директно без влакна снимљено за све LED).



Слика 8. График за све LED изворе

6.2 Тестирање, резултати и дискусија

Поред мерења оптичке снаге, слурејта (енг. *Slew Rate*) операционог појачавача и одзива детектора TSL14-SM и TSL257, такође су извршена и мерења BER-а, као и брзине преноса података.

Формула за израчунавање BER-а је:

$$BER = \frac{\text{БРОЈ ПОГРЕШНО ПРИМЉЕНИХ БИТОВА}}{\text{УКУПАН БРОЈ ПРЕНЕСЕНИХ БИТОВА}}$$

У оквиру овог рада, такође, спроведено је и мерење брзине преноса података. Резултати овог мерења добијени су коришћењем програма Terminal.exe. Мерење је спроведено тако што су се две идентичне плоче са различитим LED изворима повезале обе на рачунар. Циљ је био одредити брзину комуникације између диода парњака приликом слања сигнала једна другој за различите вредности бAUDРЕЈТА (енг. *Baudrate*), односно до које вредности бAUDРЕЈТА ће диоде слати међусобно сигнале без грешака у комуникацији. Резултати BER анализе за 256 kbps су следећи:

- Број послатих карактера: 10,240
- Број снимљених карактера: 11,645
- Број грешака (разлика у карактерима између послатих и примљених): 10,084

- Укупан број анализираних битова: 81,920
- BER: 0,1231

BER од 0,1231 је релативно висок, што значи да је око 12,31 % битова погрешно пренето или примљено. Овакав висок BER узрокован је ограничавајућим фактором брзине реаговања фотодетектора TSL14-SM. Добијени BER до 128 kbps је 0 за све успешно тестиране комуникације, што значи да није дошло до грешке у преносу између послатих и примљених података у погледу броја битова. Мерења су извршена за црвену LED за 128 kbps и за 256 kbps и за љубичасту LED за 128 kbps. У погледу брзине преноса података црвене LED остварују поуздану комуникацију за све вредности бAUDРЕЈТА, док су најлошији резултати забележени са жутозелену и плаву LED, где је непоуздан пренос података за 115,2 kHz.

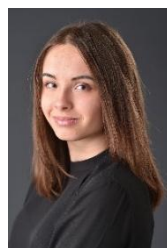
7. ЗАКЉУЧАК

Бидирекциона оптичка комуникација омогућава симултани пренос података у оба смера кроз једно оптичко влакно. У оквиру рада изнета је детаљна анализа и евалуација перформанси кључних компоненти система. Спроведен је низ експерименталних тестирања система како би се извршила верификација функционалности, перформанси, те на крају документовање експериментално добијених резултата. На основу три кључна лимитирајућа фактора оптичког система (извор, влакно, детектор) закључује се да је максимална брзина до 256 kbps у опсегу таласних дужина црвене LED. Кроз овај рад утемељена је добра основа за будући рад и развој многобројних истраживања у погледу анализа својстава оптичких влакана у различитим условима, као и свих осталих компонената и сегмената система.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Станковић, "Оптичке комуникације у WDM мрежама", Дипломски рад, Факултет техничких наука, Нови Сад, Р. Србија, 2011 [јул 2024]
- [2] С. Трајковић, "Предајници у оптичким мрежама", СИР, Факултет техничких наука, Чачак, Р. Србија, 2019 [јул 2024]
- [3] Ј. С. Бајић, "Оптоелектроника", Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2021 [септембар 2024]
- [4] В. Узелац, "Приказ структуре оптичких мрежа", Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, 2002 [август 2024]

Кратка биографија:



Драгана Драшковић рођена је 2000. године у Осијеку, Р. Хрватска. Дипломски рад на Факултету техничких наука у Новом Саду из области методи оптимизације – Примена машинског учења у дијагностиковању дијабетеса одбранила је 2023. године.

Контакт: draskovicdragana00@gmail.com

ТЕРМИЧКА СТАБИЛНОСТ И ПЕРФОРМАНСЕ МУЛТИМОДНИХ ПЛАСТИЧНИХ ОПТИЧКИХ ВЛАКАНА СА ЗАРЕЗИМА THERMAL STABILITY AND PERFORMANCE OF MULTIMODE PLASTIC OPTICAL FIBERS WITH NOTCHES

Тамара Драшковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду је детаљно испитан утицај температуре и механичког стреса на оптичка својства шест мултимодних пластичних оптичких влакана пречника 2 mm. Прате се промене у преносу сигнала кроз влакна са различитим типовима оштећења (зареза). Урађене су четири експерименталне поставке и обрађени су и протумачени прикупљени резултати.

Кључне речи: Оптоелектроника, оптичко влакно, утицај температуре, механички стрес, зарези на оптичким влакнима

Abstract – In this paper, the influence of temperature and mechanical stress on the optical properties of six multimode plastic optical fibers with a diameter of 2 mm was examined in detail. Changes in signal transmission through fibers with different types of damage (notches) are monitored. Four experimental settings were made and the collected results were processed and interpreted.

Keywords: Optoelectronics, optical fiber, temperature effects, mechanical stress, notches on optical fibers

1. УВОД

Оптичка влакна су кључна компонента у савременим комуникационим системима због својих супериорних перформанси у погледу брзине преноса података, ширине појаса и имуности на електромагнетне сметње. Међутим, различити фактори могу утицати на њихов рад, међу којима је температура један од најважнијих. Циљ овог истраживања је да се детаљно испита утицај температуре на оптичка својства мултимодних пластичних оптичких влакана пречника 2 mm са зарезима. Дат је кратак историјски преглед оптичке комуникације, стаклених и пластичних оптичких влакана. Обухваћени су основни принципи оптичких влакана. Садржан је детаљан опис коришћене опреме, припреме узорака и експерименталне процедуре. Такође, корак по корак опис мерења и анализа података, затим обрада и тумачење прикупљених резултата, као и сумирање налаза, значај резултата и предлоге за будућа истраживања.

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

2.1 Историјски развој оптичке комуникације

Историјски развој оптичке комуникације је прича о напретку технологије и инжењеринга, која је трансформисала начин на који свет преноси информације. Еволуција ове технологије почела је још од античких времена, од основних експеримената са светлом, све до данашњих софистицираних оптичких мрежа које подржавају интернет, телекомуникације и дигиталну економију. Клод Шап је изумео оптички телеграф, што је први покушај коришћења светлости за комуникацију [1]. Пластична оптичка влакна доживљавају технолошки напредак. Услед развоја нових типова пластичних оптичких влакана, постижу се побољшане перформансе, смањени губици и већа брзина преноса.

2.2 Основни принципи оптичких влакана

Оптичка влакна представљају цилиндричне структуре које се састоје од два концентрична слоја. Унутрашњи слој се назива језгро, а спољашњи омотач. Принцип по ком се преноси информација путем оптичког влакна се базира на физичком феномену званом тотална унутрашња рефлексија [2, 3]. Пластична оптичка влакна не могу пренети светлосне импулсе на велике раздаљине попут стаклених оптичких влакана. Одликује их мања брзина преноса података у поређењу са стакленим оптичким влакнима. Ова влакна су једноставна за инсталацију [4]. Мултимодна пластична оптичка влакна се користе у индустријским, аутомобилским и кућним мрежама. Пластична оптичка влакна са зарезима налазе примену и у сензорским системима за детекцију промена у окружењу, као што су температура, притисак или померање. На слици 1 је приказано мултимодно пластично оптичко влакно са зарезима пречника 2 mm.



Слика 1. Мултимодно пластично оптичко влакно са зарезима пречника 2 mm

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Бранислав Батинић, доцент.

2.3 Утицај температуре на оптичка влакна

Температура има значајан утицај на оптичка влакна што се манифестује кроз губитке сигнала, дисперзију и механичку стабилност. Пластична оптичка влакна испитивана у овом раду су постојана до температуре 60 °C изнад које трпе промене. За рад у екстремним температурним условима потребно је пажљиво бирати материјале како би се обезбедиле оптималне перформансе. Влакна са високом отпорношћу на топлоту су нарочито потребна у одређеним областима аутомобилске технике и технологије аутоматизације [4]. Даљи правци истраживања укључују развој влакана са побољшаним термичким карактеристикама и истраживање нових техника за смањење утицаја температуре.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА

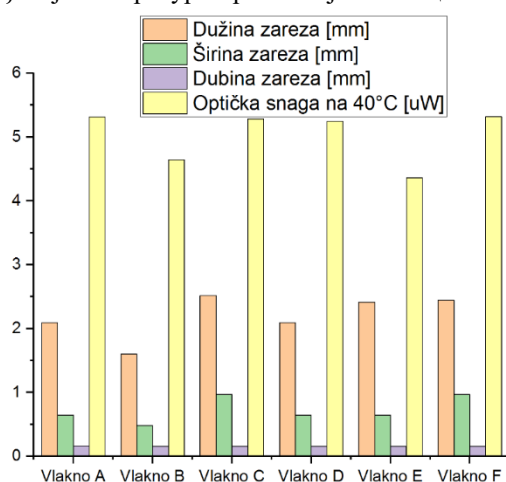
У овом делу рада описана је опрема, припрема узорка, те коришћена пећ и температурни режими.

3.1 Опис опреме

Урађене су четири експерименталне поставке за које је коришћена следећа опрема: стабилизатор извор светлости SLS201L - Thorlabs, спектрофотометар CCS200 - Thorlabs, конвертор модова и оптички мерач снаге PM100 - Thorlabs.

3.2 Узорци за тестирање

За потребе експеримента припремљено је шест мултимодних пластичних оптичких влакана пречника 2 mm са угравираним зарезима. Ради лакшег сналажења влакна ће бити означена са А, Б, Ц, Д, Е и Ф у даљем тексту. Инспекцијом зареза под микроскопом утврђене су промене настале урезивањем зареза. Испитане су димензије и расподела зареза, као и ширина врха глодала, дубина зареза и униформност размака. График који приказује упоредне информације о влакнима са зарезима, заједно са оптичком снагом на одређеној температури приказан је на слици 2.



Слика 2. Упоредне информације о влакнима са зарезима

3.3 Опис пећи и температурних режима

Поставке експеримента захтевају загревање које је изведено коришћењем пећи снаге 3,3 kW. Мерења су вршена почевши од собне температуре до температуре

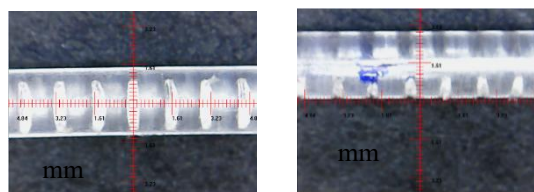
60 °C, коју влакно може издржати. Повећавање температуре је вршено почевши од 25 °C до 60 °C са кораком 5 °C. Време чекања за стабилизацију температуре износи око 10 минута за сваких 5 °C. Пећ садржи два грејача који греју равномерно са горње и са доње стране. Мерне тачке су извучене као четири температурне сонде унутар пећи помоћу којих се прати стабилизација температуре. За постизање тачног праћења температуре у пећи коришћен је додатни инструмент.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПОСТУПАК

У овом делу рада је описана припрема узорка за тестирање и поставка експеримента.

4.1 Припрема узорка за тестирање

Процедура инспекције зареза вршена је коришћењем дигиталног USB микроскопа са увећањем од 50 до 1600 пута. Поступак подразумева постављање шест мултимодних пластичних оптичких влакана пречника 2 mm под микроскоп. Овим поступком добијене су све карактеристике влакана наведене у претходном поглављу. Утврђени су размак између зареза, ширина, дужина и дубина зареза и забележен је приказ добијених резултата у виду фотографија. На слици 3 су приказани зарези на А влакну спреда и из профила посматрани под микроскопом.



Слика 3. А влакно посматрано под микроскопом

4.2 Изводба и значај експерименталних поставки

У овом делу рада изложене су четири истраживачке поставке.

4.2.1 Прва поставка

Извор светлости у овој поставци је лампа Thorlabs SLS201L, иза које је постављен конвертор модова, а затим влакно са зарезима које се испитује. Део влакна са зарезима се налази у пећи која се постепено загрева од собне температуре до 60 °C, са повећањем температуре за 5 °C у сваком кораку. Иза влакна је постављен спектрометар Thorlabs CCS200 који бележи спектралне криве за упоређивање. Поступак је поновљен за свих шест влакана.

4.2.2 Друга поставка

Користи се LED извор светлости на таласној дужини од 633 nm, влакно са зарезима и фотодетектор који показује слабљење сигнала у dBm и оптичку снагу у μW . Део влакна са зарезима се налази у пећи и загрева од собне температуре до 60 °C са кораком 5 °C. Поставка је поновљена за све температуре за свих шест оптичких влакана. Као фотодетектор је коришћено дигитално мерило оптичке снаге PM100 – Thorlabs.

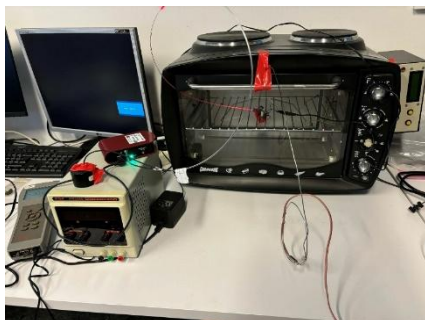
На слици 4 су приказане прва и друга истраживачка поставка.



Слика 4. Прва и друга поставка

4.2.3 Трећа поставка

Трећа поставка је изведена помоћу оптичке рачве. Омогућено је да влакна буду истовремено спојена и на спектрофотометар и на мерач оптичке снаге и слабљења. LED извор светлости на таласној дужини 633 nm се поставља у пећ која се загрева од собне температуре до 60 °C. На LED извор светлости се повезује пластично оптичко влакно са зарезима. На другом крају влакна се поставља оптичка рачва која обезбеђује истовремено спајање влакна на оба инструмента. Испитује се понашање спектралне криве услед тога што је извор изложен температури. Поступак се понавља за све температуре за свих шест испитиваних узорака оптичких влакана. На слици 5 је приказана трећа истраживачка поставка.



Слика 5. Трећа поставка

4.2.4 Четврта поставка

Четврта поставка се бави утицајем савијања влакана на једну, а затим на другу страну у односу на урезане зарезе, како би се испитало како механички стрес утиче на оптичке перформансе влакана. На LED извор светлости на таласној дужини 633 nm повезује се пластично оптичко влакно са зарезима. Са друге стране влакно је повезано на оптичку рачву која омогућава истовремено повезивање оптичког влакна и на спектрофотометар и на мерач оптичке снаге. Резултати су забележени за влакно у нормалном положају и за влакно савијено ка зарезима и од зареза. Поступак је поновљен за свих шест влакана.

5. АНАЛИЗА ПОДАТАКА

У овом делу рада изложено је прикупљање и обрада података, те дискусија резултата.

5.1 Прикупљање података

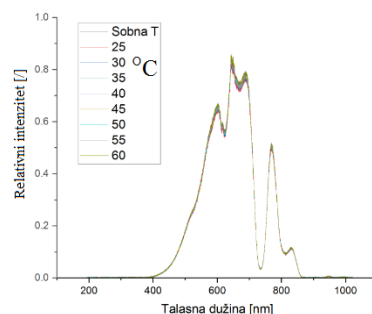
Прикупљање података о оптичким влакнима обухвата прикупљање информација о типу и карактеристикама влакна. Врши се мерење перформанси, при чему се мери слабљење светлости на другом крају влакна. За извршење ових захтева користи се одговарајућа опрема током постављања. Подаци о термичкој стабилности оптичких влакана односе се на њихову способност да задрже своја оптичка и механичка својства при различитим температурама.

5.2 Обрада података и дискусија резултата

За обраду података прикупљених током истраживања о термичкој стабилности и перформансама мултимодних пластичних оптичких влакана са зарезима, могу се применити различите технике анализе и визуализације како би се извукли корисни увиди и закључци. Потребно је извршити претпроцесирање података које подразумева чишћење података, нормализацију и сегментацију.

5.2.1 Обрада података и дискусија резултата прве поставке

На слици 6 је графички приказ који показује како се спектрални одзив влакна А мења са порастом температуре.



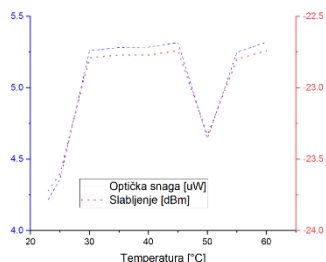
Слика 6. Визуализација спектралних кривих за А влакно

У оквиру ове поставке за свако влакно је дат графички приказ који показује како се спектрални одзив мења са порастом температуре. Извршена је интегрална анализа и добијени су резултати вршних вредности интензитета за свако влакно. Изнети су закључци о процентуалним променама релативног интензитета за свако влакно на кључним таласним дужинама. Такође, извршена је анализа средњих вредности и стандардне девијације интензитета за свако влакно. Изнети су и закључци о резултатима добијеним анализом понашања влакана на граничним температурама (собна температура и 60 °C). На крају је дата упоредна анализа резултата свих шест испитиваних влакана. Влакна А, Ц и Е су се показала као најстабилнија при променама температуре.

5.2.2 Обрада података и дискусија резултата друге поставке

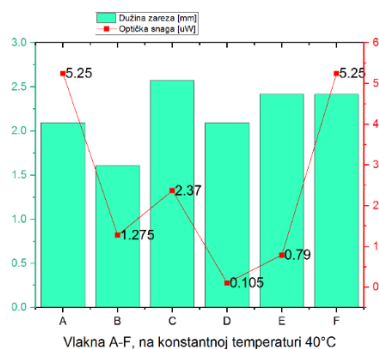
Зареци на влакнима варирају у ширини, дужини и дубини. Ове карактеристике утичу на начин на који светлост интерагује унутар влакна, што може допринети различитим термичким реакцијама. Влакна

са дубљим или дужим зарезима могу имати већа слабљења или губитке у оптичкој снази на вишим температурама. Дати су графици оптичке снаге и слабљења за свих шест оптичких влакана. На слици 7 је дат график оптичке снаге и слабљења А влакна.



Слика 7. Оптичка снага и слабљење А влакна

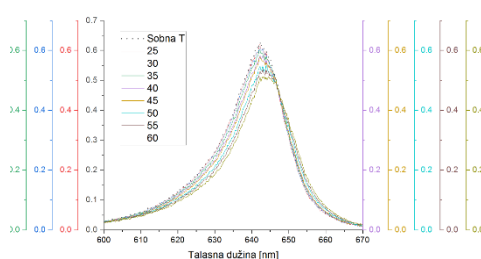
Анализирајући графике оптичке снаге за сва влакна у зависности од температуре, могу се приметити различити трендови који зависе од карактеристика сваког влакна. Дат је преглед перформанси на температури од 40 °C. График утицаја дужине влакана на оптичку снагу при 40 °C је приказан на слици 8.



Слика 8. Утицај дужине влакана на оптичку снагу при 40 °C

5.2.3 Обрада података и дискусија резултата треће поставке

Приказани су графици оптичке снаге и слабљења за свако влакно добијени за ову поставку. Такође, приказане су спектралне криве за свако испитивано влакно. На слици 9 је приказана спектрална крива за влакно А.

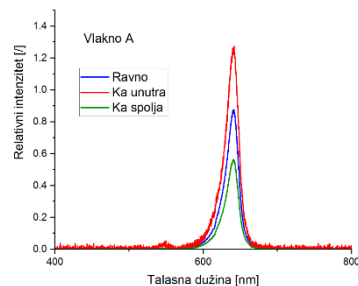


Слика 9. Спектрална крива за влакно А

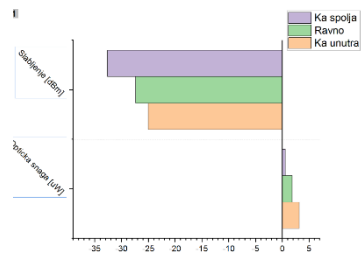
5.2.4 Обрада података и дискусија резултата четврте поставке

За четврту поставку мерења, добијени графици приказују како се релативни интензитет светла и оптичке перформансе (слабљење и оптичка снага) мењају када је влакно савијено ка зарезима, од зареза и када се налази у равном положају. Дати су графици који приказују утицај савијања влакана на интензитет

(слика 10) и на оптичку снагу и слабљење (слика 11) за влакно А.



Слика 10. Утицај савијања на интензитет за влакно А



Слика 11. Утицај савијања на оптичку снагу и слабљење за А влакно

Закључак

Анализом прве поставке закључено је да су влакна А, Ц и Е најстабилнија у свим температурним опсезима. У другој поставци се показало да су влакна А, Б, Ц, Д и Ф стабилнија на вишим температурама (45 °C и 50 °C), а влакно Е на нижим температурама (25 °C). Резултати треће поставке показују да влакна А, Б, Ц и Ф имају мању стабилност на вишим температурама, док су влакна Д и Е стабилнија при повишеним температурама. У складу са очекивањима, савијањем влакана од зареза, у свим случајевима у четвртој поставци, смањене су перформансе оптичких влакана.

Литература

- [1] Mohammad D. Al-Amri, Mohamed M. El-Gomati, M. Suhail Zubairy, "Optics in Our Time", SpringerOpen, 2016 [август 2024]
- [2] Ј. С. Бајић, „Оптоелектроника“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Р. Србија, 2021 [октобар 2024]
- [3] Gerd Keiser, "Optical Fiber Communications", Second Edition, International Edition, 1991 [септембар 2024]
- [4] Olaf Ziemann, Jürgen Krauser, Peter E. Zamzow, Werner Daum, "POF Handbook, Springer-Verlag Berlin, 2008 [октобар 2024]

Кратка биографија



Тамара Драшковић рођена је 2000. године у Осијеку, Р. Хрватска. Дипломски рад на Факултету техничких наука у Новом Саду из области методи оптимизације – Оптимизација распореда пуњења електричних возила у паметној електричној мрежи одбранила је 2023. године.

Контакт: draskovictamara00@gmail.com

**PRIMENA TEHNIKA MAŠINSKOG UČENJA NA PROBLEM KLASIFIKACIJE
RAZLIČITIH SCENARIJA BOTNET NAPADA****APPLICATION OF MACHINE LEARNING TECHNIQUES ON THE PROBLEM OF
CLASSIFICATION OF DIFFERENT SCENARIOS OF BOTNET ATTACKS**

Luka Mladenović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – SOFTVERSKO INŽINERSTVO,
INTELIGENTNI SISTEMI**

Kratak sadržaj – *Sajber napadi postaju deo svakodnevice, a sa učestalošću raste i njihova sofisticiranost. Upravo zato je potrebno više napretka i kontinuirane inovacije u odbrambenim strategijama. Tradicionalne metode otkrivanja upada i dubinske inspekcije paketa, iako se još uvek u velikoj meri koriste i preporučuju, više nisu dovoljne da zadovolje zahteve rastućih pretnji po bezbednost.*

Ključne reči: *Mašinsko učenje, klasifikacija, botnet, sajber bezbednost*

Abstract – *Cyber attacks are becoming part of everyday life, and their sophistication is increasing with frequency. This is precisely why more progress and continuous innovation in defense strategies is needed. Traditional methods of intrusion detection and deep packet inspection, although still widely used and recommended, are no longer sufficient to meet the demands of growing security threats.*

Keywords: *Machine learning, classification, botnet, cyber security*

1. UVOD

Sajber bezbednost je stalno u razvoju, ali i stopa sajber kriminala stalno raste. Sofisticirani napadi se smatraju delom svakodnevice jer postaju sve češći i rasprostranjeniji [1]. Ova stalna evolucija takođe zahteva inovacije u sajber bezbednosti.

Postoje rešenja i kombinacije metoda koje se i dalje široko koriste. Sistemi za otkrivanje i prevenciju upada u mrežu (IDS/IPS) prate zlonamerne aktivnosti ili kršenja pravila postavljenih u datoj mreži [2]. IDS zasnovan na potpisima oslanja se na poznate potpise i efikasan je u otkrivanju malvera koji odgovaraju tim potpisima. IDS zasnovan na ponašanju, s druge strane, uči šta je normalno za sistem i izveštava o svakom događaju koji odstupa od norme [3]. Analiza celokupnih podataka paketa je još jedna opcija, ali je i računski preskupa i nosi rizik izlaganja osetljivih korisničkih informacija. U ovom radu se koriste Netflow podaci za analizu. Netflow zapisi pružaju dovoljno informacija da jedinstveno identifikuju saobraćaj koristeći attribute kao što su 5-tuples i druga polja,

ali ne otkrivaju privatne ili lično identifikovane informacije (PII) [4].

Netflow, zajedno sa svojom otvorenom standardnom verzijom IPFIH, već se široko koristi za nadzor i upravljanje mrežom. Dostupnost Netflow podataka zajedno sa funkcijama privatnosti čini ga najadekvatnijim izborom [6].

2. CILJ RADA I METODOLOGIJA

Glavni cilj ovog projekta je otkrivanje malvera ili botnet saobraćaja iz Netflow skupa podataka koristeći različite pristupe mašinskog učenja. Konkretno, ovaj predloženi pristup ima za cilj da:

1. Otkriva malver ili botnet saobraćaj iz Netflow podataka. Sistem bi trebalo da uzme bilo koji Netflow skup podataka bilo koje veličine, čist ili sa malverom, i klasifikuje ga kao normalan ili napadački saobraćaj.
2. Uporedi različite metode mašinskog učenja i preporuči odgovarajuću za specifične slučajeve upotrebe.

Da bi se postigli gore navedeni ciljevi, sledi se metodologija opisana u nastavku.

1. Odabir skupa podataka: Prvi deo metodologije je prikupljanje podataka o protoku saobraćaja. To se može uraditi tako što će se dobiti stvarni saobraćaj iz poznate organizacije i izvući Netflow-ovi. Ovaj rad koristi CTU-13 u odnosu na druge javne skupove podataka jer je veoma dostupan i široko korišćen za mnoge slične istraživačke studije u prošlosti. Zatim statistički se ispituje skup podataka kako bi se identifikovale zajedničke karakteristike i frekvencije. Karakteristike su sirovi atributi u Netflow podacima - StartTime, Duration, Proto, SrcAddr, Sport, Dir, DstAddr, Dport, State, sTos, dTos, TotPkts, TotBytes, SrcBytes i Label. Ova grupa karakteristika opisuje tokove.

2. Ekstrakcija karakteristika: Iz odabranog skupa podataka identifikuju se i izdvajaju karakteristike Netflow podaci sadrže kategorijalne karakteristike koje moraju biti kodirane u numeričke ili boolean vrednosti, što bi rezultiralo matricom prevelike veličine i izazvalo probleme sa memorijom. Da bi se smanjila količina podataka za obradu, koristi se šema za uzorkovanje Netflow saobraćaja koristeći vremenski prozor. Odabran je vremenski prozor od 2 minuta sa korakom od 1 minuta. Zatim se obrađuje dvosmerni Netflow skup podataka i izdvajaju kategorijalne i numeričke karakteristike koje opisuju skup podataka unutar datog vremenskog prozora

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milan Segedinac, vanr. prof.

3. Selekcija karakteristika: Uključuje korišćenje tehnika selekcije karakteristika kako bi se smanjila dimenzija ulazne matrice za obuku. Filtriranje karakteristika kroz Pirsonovu korelaciju, metode omotača koristeći eliminaciju karakteristika unazad, ugrađene metode unutar Random Forest klasifikatora, analiza glavnih komponenti (PCA) i t-distribuirano stohastičko ugrađivanje suseda (t-SNE) su različite tehnike koje se koriste u ovu svrhu.

4. Poređenje algoritama: Odlučeno je da je svrshodno upoređivanje pet odabranih algoritama. Različiti modeli mašinskog učenja koji će biti obučeni u ovom koraku su: logistička regresija, Support Vector Machine (SVM), Random Forest klasifikator, gradient boosting i gusta neuronska mreža

5. Detekcija botneta: Poslednji korak u ovoj metodologiji uključuje testiranje modela kako bi se saznalo da li je moguće uspešno detektovati botnet saobraćaj iz CTU-13 skupa podataka. Ukupna performansa detekcije botneta se određuje na osnovu f1 skora gorepomenutih modela

Rad sa podacima o mrežnoj bezbednosti donosi mnogo izazova. Prvo, podaci su veoma neuravnoteženi jer je većina saobraćaja bezopasna, a samo mali deo je zlonameran. To otežava modelu da nauči šta je štetno. Pored toga, rizik od prekomernog prilagođavanja tokom procesa obuke je visok jer struktura mreže utiče na način na koji model uči, dok se želi algoritam koji je nezavisan od mreže.

Pored toga, analiza saobraćaja se bavi mrežom koja je dinamična struktura; komunikacije zavise od vremena, a veze između servera mogu se pojaviti i nestati sa novim zahtevima i novim korisnicima u mreži [5].

2.2. Analiza podataka

CTU-13 skup podataka je označen skup podataka koji se koristi u literaturi za obuku algoritama za detekciju botneta (vidi na primer [9] i [7]. Kreirao ga je CTU univerzitet 2011. godine i beleži stvarni botnet saobraćaj pomešan sa normalnim saobraćajem i pozadinskim saobraćajem.

CTU-13 skup podataka se sastoji od 13 snimaka različitih uzoraka botneta sažetih u 13 dvosmernih Netflow5 fajlova.

Glavni problem sa Netflow podacima je što je većina informacija u obliku kategorijalnih karakteristika. Pokušaj transformacije kategorija u boolean kolone rezultira eksplozijom veličine matrice, što izaziva greške u memoriji (čak i nakon korišćenja komprimovane retke matrice). Popularna ideja je sažimanje podataka unutar vremenskog prozora. Ovo je opravdano činjenicom da botneti "imaju tendenciju ponašanja sa vremenskom lokalnošću" [7]. Pored toga, omogućava da se smanji količina podataka i da se isporuči detektor botneta koji daje rezultate uživo nakon svakog vremenskog prozora (u zamenu za detalje ulaznih podataka) [8].

Glavni problem je odrediti širinu i korak vremenskog prozora. Pregledana literatura predlaže različite opcije (2 minuta u metodi detekcije BCLus u [7], 3 sekunde u algoritmu MINDS u [12], 5 minuta u algoritmu Xu u [9], ali su ovi predlozi često empirijski. U ovom slučaju, odabrana je širina vremenskog prozora od 2 minuta i korak od 1 minuta.

Još jedan problem je da vremenski prozor prikuplja Netflow komunikacije prema vremenu početka veze.

Korišćenje statusa komunikacije (aktivna ili završena) rezultiralo je eksplozijom veličine podataka, pa je korišćeno trajanje komunikacije kao dodatna karakteristika.

Izdvojene karakteristike pokušavaju da predstave Netflow komunikacije unutar vremenskog prozora. Da bi se to postiglo, podaci vremenskog prozora se prikupljaju prema izvornoj adresi. Postoje 2 karakteristike izdvojene iz svake kategorijalne Netflow karakteristike (u ovom slučaju: izvorni portovi, određene adrese i određeni portovi):

- broj jedinstvenih pojava u podgrupi
- normalizovana entropija podgrupe

Što se tiče numeričkih Netflow karakteristika (u ovom slučaju: trajanje komunikacije, ukupan broj razmenjenih bajtova, broj bajtova poslatih od strane izvora), izdvojeno je 5 karakteristika: suma, srednja vred, stand. dev, maksimum, medijana.

Međutim, one mogu biti redundantne ili irelevantne za detekciju botneta, pa je potrebna selekcija karakteristika.

Odabir karakteristika vršio se uspomoc Filler i Wrapper metoda. Ispitana je takođe i korelacija između svih karakteristika. Takođe upotrebljene su i tzv. Embedded metode, kao što su Lasso i Ridge logistička regresija kao i SVM sa rekurzivnom eliminacijom karakteristika. Ispitana je i važnost svake karakteristike prema Random Forest klasifikatoru. Takođe, primenje su i tehnike redukcije dimenzionalnosti, kao što su PCA i tSNE.

2.3. Rezultati rada

Da bi se uporedili rezultati različitih algoritama, potrebno je odabrati neke metrike za evaluaciju performansi metoda. Treba imati na umu da je za ovaj projekat detekcije zlonamernog softvera imati nizak recall gore nego imati nisku preciznost, jer to znači da su većina detektovanih komunikacija botneti (preciznost), ali većina botnet komunikacija ostaje neotkrivena (recall). Naravno, imati dobar recall je lako jer sve što treba uraditi je označiti svaku komunikaciju kao botnet. Dakle, odabrani kompromis je maksimizacija f1 skora uz proveru da recall nije previše nizak.

Metoda logističke regresije je algoritam koji koristi linearnu kombinaciju karakteristika za klasifikaciju tokova. Kros-validacija je neophodna za podešavanje parametara modela. Konačno odabrani parametri su $C = 550$ i $\text{Weighton-botnet} = 0.044$.

Najbolji SVM parametri za detekciju botneta u prvom scenariju CTU-13 su polinomski kernel sa stepenom 2.

Random Forest je algoritam koji koristi nekoliko klasifikatora odlučujućih stabala za predviđanje klase svakog ulaznog toka. Odabrani broj stabala u šumi je 100.

Metoda Gradient Boosting je algoritam koji takođe koristi klasifikatore odlučujućih stabala, ali pokušava da postepeno poboljša obuku koristeći skor jednog stabla za izgradnju drugog. Dva glavna parametra moraju biti podešena: funkcija gubitka i maksimalna dubina stabala (odabrani broj stabala je 100). Odabran je eksponencijalni gubitak sa maksimalnom dubinom klasifikatora 4.

U poslednje vreme, neuronske mreže su stekle popularnost jer daju vrlo dobre rezultate kada je dostupno mnogo podataka. Ovde je testirana jednostavna gusta (ili potpuno

povezana) neuronska mreža sa 2 skrivena sloja: prvi ima 256 neurona, a drugi ima 128. Parametri neuronske mreže sastoje se od batch-normalizacije, bez dropout ReLU aktivacione funkcije (osim za izlazni sloj gde se koristi sigmoid funkcija). Model ima 39.681 parametar za obuku i 768 parametara koji se ne obučavaju.

Radi upoređivanja algoritama, modeli se obučavaju sa 2/3 skupa podataka (Netflow-ovi su nasumično odabrani) i testirana sa preostalih 1/3.

Tabela 1. Botnet Neris rezultati

Algorithms	Training			Test		
	Precision	Recall	f_1 Score	Precision	Recall	f_1 Score
Logistic Regression	0.74	0.97	0.83	0.74	0.96	0.84
Support Vector Machine	0.94	0.80	0.86	0.91	0.78	0.86
Random Forest	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	0.98
Gradient Boosting	1.0	0.99	1.0	0.98	0.96	0.97
Dense Neural Network	0.90	0.98	0.94	0.96	0.99	0.98

Tabela 1. pokazuje da Random Forest, Gradient Boosting i gusta neuronska mreža nadmašuju druge testirane algoritme u detekciji botneta među mrežnim saobraćajem sa f_1 skorom od 0.97. Ipak, metode logističke regresije i Support Vector Machine uspevaju da postignu f_1 skor od 0.85, jedna sa niskom preciznošću, druga sa niskim recall-om. Kako je Random Forest najbrži algoritam za obuku i najmanje sklon prekomernom prilagođavanju (jer nema mnogo hiperparametara za odabir), ova tehnika će biti proučavana sa drugim scenarijima u sledećem odeljku.

Da bi se saznalo da li se rezultati Random Forest klasifikatora na scenariju 1 CTU-13 skupa podataka mogu generalizovati, testiraju se na svim ostalim scenarijima

Tabela 2. Rezultati RF klasifikatora

Botnet	Dataset		Training			Test		
	Size	Botnets	Precision	Recall	f_1 Score	Precision	Recall	f_1 Score
Neris - Scenario 1	2 226 720	1.28 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	0.975
Neris - Scenario 2	1 431 539	1.45 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.98	0.99
Rbot - Scenario 3	2 024 053	4.99 %	1.0	0.99	0.99	1.0	0.96	0.98
Rbot - Scenario 4	470 663	2.36 %	1.0	0.90	0.95	1.0	0.69	0.82
Virut - Scenario 5	63 643	3.46 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.25	0.4
DonBot - Scenario 6	220 863	5.57 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.95
Sogou - Scenario 7	50 629	1.38 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.25	0.4
Murlo - Scenario 8	1 643 574	6.80 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.94	0.97
Neris - Scenario 9	1 168 424	12.51 %	1.0	0.99	1.0	1.0	0.94	0.97
Rbot - Scenario 10	559 194	9.67 %	1.0	0.98	0.99	1.0	0.90	0.95
Rbot - Scenario 11	61 551	2.76 %	1.0	1.0	1.0	0.5	0.33	0.4
NSIS.ay - Scenario 12	156 790	10.20 %	1.0	0.82	0.90	0.92	0.41	0.56
Virut - Scenario 13	1 294 025	7.57 %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.96	0.98

Tabela 2. pokazuje da Random Forest klasifikator uspeva da detektuje većinu botneta u 8 od 13 scenarija. Loši rezultati u preostalih 5 scenarija čini se da su povezani sa veličinom skupa podataka.

Glavni problem sa rezultatima iz Tabele 2. je što su zasnovani samo na jednom testnom skupu podataka. Dakle, ako je veličina skupa podataka premala, statistička greška može biti značajna. Stoga je napravljena statistička analiza na scenarijima koji imaju male skupove podataka.

Tabela 3. kvalifikuje rezultat iz prethodnog odeljka jer pokazuje da srednje vrednosti skora nisu tako loše kao što se može protumačiti iz Tabele 2. Naime, male veličine skupova podataka su odgovorne za značajnu statističku devijaciju. Treba napomenuti da unapredna obrada ekstrakcije karakteristika nije razlog za nedostatak podataka jer originalni skupovi podataka već imaju malo

tokova (129.832 za scenario 5, 114.077 za scenario 7, 107.251 za scenario 11).

Tabela 3. Statistička analiza rezultata na 50 nasumičnih skupova test podataka

Botnet	Mean (Test)			Standard deviation (Test)		
	Precision	Recall	f_1 Score	Precision	Recall	f_1 Score
Rbot - Scenario 4	1.0	0.60	0.75	0.0	0.08	0.06
Virut - Scenario 5	1.0	0.45	0.59	0.0	0.21	0.20
DonBot - Scenario 6	1.0	0.95	0.97	0.0	0.03	0.02
Sogou - Scenario 7	1.0	0.42	0.52	0.0	0.30	0.32
Rbot - Scenario 10	0.99	0.90	0.94	0.01	0.02	0.01
Rbot - Scenario 11	0.95	0.50	0.63	0.12	0.18	0.16
NSIS.ay - Scenario 12	0.93	0.39	0.54	0.07	0.08	0.08

Može se primetiti da je prosečna preciznost za svaki scenario blizu 95%, a da je prosečan recall oko 50% ili više. Random Forest klasifikator se čini neefikasnim samo u scenarijima 4 i 12, jer statističke devijacije nisu veoma značajne, a veličine skupova podataka nisu veoma male.

Da bi se izborili sa nedostatkom podataka u nekim scenarijima, ideja je da se klasifikator obuči na jednom scenariju sa velikim skupom podataka, a zatim testira na drugom scenariju sa manjim skupom podataka.

Tabela 4. Rezultati korišćenja scenarija 3 za obuku

Botnet	Test		
	Precision	Recall	f_1 Score
Rbot - Scenario 3	1.0	0.96	0.98
Rbot - Scenario 4	0.0	0.0	0.0
Rbot - Scenario 10	0.0	0.0	0.0
Rbot - Scenario 11	0.0	0.0	0.0

Tabela 5. Rezultati korišćenja scenarija 10 za obuku

Botnet	Test		
	Precision	Recall	f_1 Score
Rbot - Scenario 3	0.0	0.0	0.0
Rbot - Scenario 4	0.6	0.02	0.05
Rbot - Scenario 10	1.0	0.90	0.95
Rbot - Scenario 11	1.0	0.41	0.58

Tabela 6. Rezultati korišćenja scenarija 13 za obuku

Botnet	Test		
	Precision	Recall	f_1 Score
Virut - Scenario 5	0.0	0.0	0.0
Virut - Scenario 13	1.0	0.96	0.98

Tabele br. 4, 5 i 6 pokazuju da obuka klasifikatora na drugom scenariju uopšte ne funkcioniše. To znači da je veoma teško ili nemoguće detektovati nove nevidene botnete sa ovim skupom podataka i ovom metodom. Šodno tome, da bi se detektovao botnet, klasifikator mora biti obučen sa skupom podataka koji sadrži taj botnet unapred.

Još jedno moguće objašnjenje loše generalizacije na druge scenarije je da svaki scenario ima botnet čija je svrha drugačija. Karakteristike Botnet napada su drugačije, pa je i logično da obuka klasifikatora sa drugim scenarijem ne daje dobre rezultate.

Još jedna ideja za rešavanje problema malih veličina skupova podataka je korišćenje metode augmentacije podataka za izgradnju većeg skupa podataka. Ovde ponovo uzorkujemo podatke za obuku koristeći bootstrap tehniku kako bismo ih učinili 10 puta (vidi Tabelu 7) i 30 puta većim (vidi Tabelu 8).

Tabela 7. Statistička analiza sa ponovnim uzokrovanjem, trening skup puta 10

Botnet	Mean (Test)			Standard deviation (Test)		
	Precision	Recall	f_1 Score	Precision	Recall	f_1 Score
Virut - Scenario 5	1.0	0.55	0.69	0.0	0.20	0.17
Sogou - Scenario 7	1.0	0.55	0.65	0.0	0.32	0.31
Rbot - Scenario 11	0.94	0.63	0.74	0.12	0.18	0.14

Tabela 8. Statistička analiza sa ponovnim uzokrovanjem, trening skup puta 30

Botnet	Mean (Test)			Standard deviation (Test)		
	Precision	Recall	f_1 Score	Precision	Recall	f_1 Score
Virut - Scenario 5	1.0	0.57	0.70	0.0	0.20	0.17
Sogou - Scenario 7	1.0	0.55	0.65	0.0	0.33	0.32
Rbot - Scenario 11	0.94	0.64	0.74	0.12	0.19	0.15

Tabele br. 7 i 8 prikazuju statističku analizu scenarija 5, 7 i 11 koristeći bootstrap metodu kao ponovo uzorkovanje. Iz tabele br. 7 se može videti da su recall i f_1 skor povećani za oko 10 poena za sve scenarije. To znači da je veličina skupa podataka pravi problem za detekciju botneta. Međutim, Tabela br. 8 pokazuje da se ovaj trik sa ponovnim uzorkovanjem ne može koristiti koliko god želimo, jer rezultati dostižu tačku zasićenja, čak i ako se skup podataka za obuku povećava u veličini sa bootstrap metodom.

3. ZAKLJUČAK

Cilj ovog projekta je bila izgradnja i poređenje modela koji su sposobni da detektuju botnete u stvarnom mrežnom saobraćaju predstavljenom Netflow skupovima podataka. Nakon detaljne analize podataka i mnogih pregleda radova o mrežnoj bezbednosti, izdvojene su relevantne karakteristike. Njihov uticaj je zatim proučavan kroz proces selekcije, ali nijedna karakteristika nije bila dovoljno loša da bi bila izostavljena za deo obuke.

Zatim su testirani različiti algoritmi među kojima su logistička regresija, Support Vector Machine, Random Forest, Gradient Boosting i gusta neuronska mreža. Random Forest klasifikator je odabran za detekciju botneta u svim ostalim scenarijima, što je rezultiralo tačnošću detekcije od više od 95% botneta u 8 od 13 scenarija.

Nakon toga, fokus je bio na povećanju tačnosti za 5 najtežih scenarija. Korišćenje bootstrap metode za povećanje količine podataka rezultiralo je detekcijom više od 55% scenarija 5, 7 i 11. Samo su rezultati scenarija 4 i 12 bili teški za poboljšanje (f_1 skor od 0.75 za scenario 4 i 0.54 za scenario 12). Ovo je možda zbog loše reprezentacije ponašanja botneta sa izdvojenim karakteristikama ili je potrebno koristiti složenije algoritme (kao što su rekurzivne duboke neuronske mreže).

Moguće poboljšanje rada predstavljenog ovde bilo bi pokušati modifikaciju izdvojenih karakteristika sa različitim širinama i koracima za vremenski prozor i istražiti više hiperparametara za teške scenarije. Još jedna ideja bi bila pokušati obuku i testiranje nekoliko scenarija

istovremeno. Na kraju, nenadgledano učenje može biti testirano za detekciju ponašanja botneta bez korišćenja oznaka podataka

4. LITERATURA

- [1] Claise, Benoit. 2004. *Cisco systems netflow services export version*.
- [2] Choras, Rafal Kozik and Michal. 2017. "Pattern Extraction Algorithm for NetFlow-Based Botnet Activities Detection". Security and Communication Networks 2017.
- [3] Cynthia Wagner, Jerome Francois, Thomas Engel, et al. 2011. *Machine learning approach for ip-flow record anomaly detection*. International Conference on Research in Networking, Springer.
- [4] Wikipedia. Accessed 09 01, 2024. https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning
- [5] Matija Stevanovic, Jens Myrup Pedersen. 2014. "An efficient flow-based botnet detection using supervised machine learning." *2014 international conference on computing, networking and* 797-801.
- [6] David Santana, Shan Suthaharan, Somya Mohanty. 2018. "What we learn from learning-Understanding capabilities and limitations of machine learning in botnet attacks." *arXiv preprint*
- [7] Kozik Rafal, Michal Choras, and Jorg Keller. 2019. "Balanced Efficient Lifelong Learning (B-ELLA)
- [8] P Fruehwirt, S Schrittwieser, i ER Weippl. 2014. "Using machine learning techniques for traffic classification
- [9] Jiangpan Hou et. 2018. "Machine Learning Based DDos Detection Through NetFlow Analysis."

Kratka biografija:

Luka Mladenović rođen je u Aleksincu 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Softversko inženjerstvo – Inteligentni sistemi odbranio je 2024.god. kontakt: luka99al@gmail.com

KOMPARATIVNA ANALIZA KORISNIČKOG ISKUSTVA U RADU SA ČET-DŽI-PI-TI I MAJKROSOFT KOPILOT ALATIMA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE**COMPARATIVE ANALYSIS OF USER EXPERIENCE IN WORKING WITH CHATGPT AND MICROSOFT COPILOT ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS**

Bojana Tekić , *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu dat je opis, kao i poređenje interfejsa alata veštačke inteligencije kroz prizmu korisničkog iskustva. Na osnovu detaljne analize glavnih funkcionalnosti i istraživanja interfejsa svakog od njih, izvedeni su zaključci o tome za šta je svaki od njih pogodan za korišćenje. Svrha celokupne analize jeste doći do odgovora kojom strategijom i uz pomoć kog alata veštačke inteligencije korisnik može najefikasnije da ostvari svoj cilj.

KLjučne reči: veštačka inteligencija, interfejs, Čet-Dži-Pi-Ti (engl. ChatGPT), Majkrosoft Kopilot (engl. Microsoft Copilot).

Abstract – In this paper, a comprehensive description and comparison of the user interfaces of artificial intelligence tools are presented through the lens of user experience. Through an in-depth analysis of key functionalities and a detailed exploration of each tool's interface, conclusions are drawn regarding the suitability of these tools for specific applications. The aim of this analysis is to identify the optimal strategy and the most effective AI tool to help users achieve their goals with maximum efficiency.

Keywords: artificial intelligence, interface, ChatGPT, Microsoft Copilot

1. UVOD

Veštačka inteligencija je oblast računarskih nauka koja se fokusira na stvaranje sistema sposobnih da obavljaju zadatke koji obično zahtevaju ljudsku inteligenciju, poput učenja, rešavanja problema ili donošenja odluka [1].

Cilj ovog istraživanja je da se na jasan način uporede i opišu AI (engl. *Artificial Intelligence*, *veštačka inteligencija*) alati kao što su Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilot. Želja je da se istraži kako ovi alati funkcionišu i koje prednosti i nedostaci ih karakterišu u različitim situacijama korišćenja.

Struktura rada je sledeća. Drugo poglavlje prikazuje pregled stanja u oblasti. Treće poglavlje objašnjava metodologiju korišćenu u radu. Četvrto poglavlje opisuje

ciklični razvoj korisničkih interfejsa kroz evoluciju od komandne linije do savremenih antropomorfni interfejsa kao što su Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilot. U petom poglavlju su obrađeni osnovni teorijski koncepti i istorijski razvoj alata veštačke inteligencije. Šesto poglavlje daje detaljno poređenje analiziranih alata, čiji je sažetak predstavljen u sedmom poglavlju kroz komparativni prikaz. Na kraju, osmo poglavlje sadrži zaključke celokupnog rada

2. PREGLED STANJA U OBLASTI

Kako alati veštačke inteligencije postaju sve popularniji, broj istraživanja o njihovoj upotrebi, istoriji i uticaju na savremeni život značajno raste. Paralelno s tim, važnost detaljne analize koja upoređuje funkcionalnosti i interfejsa različitih alata takođe dobija na značaju, jer može pružiti korisne uvide za buduće korisnike i istraživače.

Rad [6] predstavlja sistematski pregled nedavnog napredovanja u oblasti generativne veštačke inteligencije. Fokusira se na ključne algoritme kao što su difuzioni modeli, transformatorni modeli, generativne adversarijalne mreže i varijacione autokodere, analizirajući njihove primene u oblasti obrade prirodnog jezika i video prevoda. Ističe se značaj postignuća u zadacima kao što su odgovaranje na pitanja, generisanje koda i prevod jezika, uz naglasak na budućem razvoju veštačke inteligencije.

U radu [5] predstavljeni su preliminarni rezultati eksperimenta koji poredi napore potrebne za ručno razvijanje E2E test skripti i napore kada se koriste alati za generisanje na bazi veštačke inteligencije, kao što su Kopilot i Čet-Dži-Pi-Ti. Cilj istraživanja bio je procena potencijalnih prednosti AI alata u razvoju test skripti. Rezultati ukazuju na značajno smanjenje vremena potrebnog za razvoj skripti. U budućem radu, istraživači planiraju da sprovedu opsežnije eksperimente sa raznovrsnijim učesnicima.

Osnovni cilj istraživanja [7] je sticanje vrednih uvida o tome kako se Čet-Dži-Pi-Ti koristi kao alat u realnom praktičnom kodiranju, što može usmeriti buduća istraživanja u ovoj oblasti. Istraživanje obuhvata dve ključne oblasti: prva se fokusira na karakteristike interakcije između programera i LLM-ova (engl. *Large Language Models*, veliki jezički modeli), uključujući mesto upotrebe Čet-Dži-Pi-Tija u procesu razvoja, prosečnu dužinu razgovora, odnosno broj rundi upita i

NAPOMENA:

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

odgovora potrebnih za postizanje zadovoljavajućeg rešenja, kao i strategije programiranja koje programeri koriste za poboljšanje Čet-Dži-Pi-Tijevih rezultata. Druga oblast istražuje na koji način i u kojoj meri programeri koriste generisani kod u proizvodnji.

Rad [4] se bavi procenom tačnosti odgovora tri modela veštačke inteligencije – Čet-Dži-Pi-Ti-3.5, Kopilota i Džeminija (engl. *Gemini*) – u tumačenju biohemijskih laboratorijskih podataka deset simuliranih pacijenata. Analizirani su različiti biohemijski parametri, uključujući funkciju bubrega i lipidni status, uz dva različita pristupa, jedan koji obuhvata sve podatke i drugi koji se fokusira samo na funkciju bubrega. Cilj studije je bio da se utvrdi koji od ovih AI alata daje najpreciznije i najpouzdanije rezultate u tumačenju laboratorijskih podataka. Rezultati su pokazali da je Kopilot najprecizniji u oba pristupa, nadmašujući Čet-Dži-Pi-Ti-3.5 i Džeminija.

3. METODOLOGIJA

U ovoj studiji primenjena je metodologija „Dizajn baziran na korisničkom iskustvu“ koja je usmerena na objektivno prikupljanje podataka o tome kako korisnici interaguju s alatom i kakve su njihove potrebe. Ovo podrazumeva ocenu upotrebljivosti, vizuelnog dizajna, funkcionalnosti, pristupačnosti, interakcije i kompatibilnosti, što sve doprinosi opštem korisničkom iskustvu. Prvo, evaluacija upotrebljivosti obuhvata procenu koliko je korisnički interfejs jednostavan za upotrebu, uključujući efikasnost, učestalost grešaka i zadovoljstvo korisnika [8]. Drugi aspekt, vizuelni dizajn, uključuje analizu rasporeda elemenata na ekranu, upotrebu boja, tipografije i ikonografije, koji igraju ključnu ulogu u intuitivnosti interfejsa, ali su proučavani iz ugla standarda dizajna i najboljih praksi. Treći element, funkcionalnost, analizira dostupne opcije i karakteristike alata, kao što su pristup i vidljivost funkcija, mogućnosti personalizacije i interakcija sa drugim aplikacijama [9]. Četvrti element, interakcija korisnika i interfejsa, obuhvata tipove interakcije, metode navigacije i podršku za različite tipove uređaja, uključujući tekstualni unos, glasovne komande i otpremanje slika.

4. CIKLIČNI RAZVOJ KORISNIČKIH INTERFEJSA

Ciklični razvoj korisničkih interfejsa često se ogleda u evoluciji tehnologija kao što su četbotovi, veštačka inteligencija i mašinsko učenje. Interfejs komandne linije (engl. *Command-line interface, CLI*) predstavlja rane faze ljudsko-kompiuterske interakcije, gde je korisnik u direktnom kontaktu sa mašinom putem tekstualnih naredbi [10]. Sa druge strane, antropomorfni interfejsi predstavljaju najnoviji korak u evoluciji interfejsa, koji pokušavaju da simuliraju prirodnu ljudsku komunikaciju i interakciju. Alati veštačke inteligencije poput Čet Dži-Pi-Tija i Majkrosoft Kopilota, oslanjaju se na veštačku inteligenciju i obradu prirodnog jezika kako bi omogućili korisnicima da komuniciraju sa računarom kao da razgovaraju sa čovekom.

5. OSNOVNI TEORIJSKI KONCEPTI I ISTORIJA RAZVOJA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Razvoj veštačke inteligencije počinje 1950. godine, kada Alan Turing objavljuje svoj uticajni rad „Computing Machinery and Intelligence“ u kojem uvodi Turingov test, pomoću kojeg se može utvrditi da li je neka mašina inteligentna [11]. Da bi mašina položila ovaj test, treba da ima sposobnosti obrade prirodnog jezika, donošenja zaključaka i učenja. Formalni početak veštačke inteligencije je godina 1956., gde je grupa do tada već iskusnih istraživača u ovoj oblasti organizovala konferenciju u Dartmutu na kojoj su razmatrana dotadašnja dostignuća i budući pravci razvoja. Na predlog američkog naučnika Džona Mekartija, kasnijeg dobitnika Turingove nagrade i kreatora programskog jezika LISP (engl. *List processing*), oblast je nazvana veštačka inteligencija. Godine 1966. Jozef Vajsensbaum stvara ELIZA, prvi jednostavni četbot (engl. *chatbot*), koji simulira razgovor terapeuta i demonstrira osnovne mogućnosti interakcije čoveka i mašine. Čet-Dži-Pi-Ti je moćan alat veštačke inteligencije sposoban za generisanje teksta sličnog ljudskom i obavljanje zadataka na osnovu pisanih komandi. Čet-Dži-Pi-Ti je lansiran u novembru 2022. godine [2]. Majkrosoft Kopilot je generativni AI četbot razvijen od strane Majkrosofta. Baziran na velikom jezičkom modelu, lansiran je u februaru 2023. godine kao glavna zamena za ukinutu Kortanu (engl. *Cortana*) [3].

6. POREĐENJE ALATA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE ČET-DŽI-PI-TI I MAJKROSOFT KOPILOT

Kako kompleksnost alata veštačke inteligencije brzo raste, u ovom poglavlju nije moguće obuhvatiti sve aspekte. Dat je detaljan opis i poređenje određenih kategorija kao što su proces registracije i logovanja, korisnički interfejs alata, kao i sistemi za interakciju sa korisnicima.

6.1. Registracija i logovanje

U razvoju softverskih sistema, bitno je koristiti uobičajenu terminologiju, koncepte i izraze koji su poznati i razumljivi korisnicima. Pridržavanje određenih konvencija koje se koriste u realnom svetu je neophodno kako bi se omogućio transfer znanja iz realnog sveta u korisnički interfejs. Kao prva i logična funkcionalnost jeste registracija i logovanje.

Registracija i logovanje za alate Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilot omogućavaju korisnicima pristup osnovnim i naprednijim funkcionalnostima. Za Čet-Dži-Pi-Ti, korisnici mogu koristiti osnovne funkcije bez registracije, ali za personalizaciju i istoriju razgovora potrebna je registracija putem imejla, sa potvrdom i unosom ličnih podataka. S druge strane, registracija za Majkrosoft Kopilot zahteva Majkrosoft nalog, što znači da korisnici moraju prvo da kreiraju nalog. Prijava može biti uz korišćenje radnog ili privatnog naloga, pri čemu radni nalog nudi komercijalnu zaštitu podataka. Logovanje za oba alata zahteva slične informacije, uz mogućnost oporavka lozinke u slučaju zaborava. Ova usaglašenost u interfejsu i terminologiji doprinosi boljem korisničkom iskustvu.

6.2. Poređenje interfejsa alata veštačke inteligencije Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilot

U savremenom digitalnom okruženju, alati veštačke inteligencije postali su ključni za svakodnevno funkcionisanje pojedinaca i organizacija. Oni ne samo da olakšavaju komunikaciju, već i optimizuju razne procese, pružajući korisnicima intuitivan način za dobijanje informacija i rešavanje problema.

Na početnim stranicama Čet-Dži-Pi-Tija i Majkrosoft Kopilota mogu se primetiti određene sličnosti u konceptu, iako svaka platforma ima svoje specifičnosti. Oba alata na svojim početnim stranicama u centralnom delu imaju predloge pitanja ili komandi u kvadratnim oblastima, što korisnicima omogućava brz pristup često postavljanim upitima ili opcijama. U oba slučaja, polje za unos upita ili komandi nalazi se na dnu stranice, što omogućava lako i prirodno unošenje teksta. Istorija razgovora u Majkrosoft Kopilotu obično se nalazi sa desne strane interfejsa, dok je u Čet-Dži-Pi-Tiju pozicionirana sa leve strane.

Kada se korisnik prijavi na Čet-Dži-Pi-Ti platformu, prvo što uočava je početna stranica. Ovde se nalazi glavni čet interfejs, gde korisnici mogu da postavljaju pitanja ili izraze svoje zahteve. Na vrhu interfejsa, korisnici vide navigacioni meni koji uključuje opcije kao što su prijava, podešavanja naloga i istorija razgovora. Takođe, tu su i linkovi do pomoćnih resursa kao što su dokumentacija i korisnička podrška, što korisnicima olakšava da pronađu odgovore na svoja pitanja o funkcionalnostima alata. Glavni čet prozor, koji predstavlja centralno mesto za komunikaciju, organizovan je u formu balona, gde su poruke od korisnika i Čet-Dži-Pi-Tija raspoređene na način koji olakšava čitanje i razumevanje. Korisnici mogu lako da urede tekst u promptu (engl. *prompt* - upiti ili komande napisane na prirodnom jeziku), što im omogućava da precizno formulišu svoje zahteve. Takođe, Čet-Dži-Pi-Ti pruža opcije za upravljanje odgovorima, uključujući funkcije kao što su čitanje teksta na glas, kopiranje odgovora i ocenjivanje kvaliteta odgovora. Ove opcije doprinose poboljšanju interakcije i pružaju korisnicima mogućnost da aktivno učestvuju u procesu.

Na početnoj stranici Majkrosoft Kopilota, glavna navigaciona traka na vrhu stranice sadrži sve važne opcije i dugmiće, uključujući logotip Majkrosoft Kopilota, dugme „Notebook“, „Try the app“, trenutni jezik, ikonu profila, padajući meni, opciju „Chats“ i opciju „Plugins“. Polje za unos upita služi da korisnik postavi pitanje Kopilotu, a klikom na dugme „New topic“ započinje se novi razgovor, što je korisno u slučaju pokretanja nove teme ili zadatka. Osnovni princip postavljanja pitanja na Kopilotu i Čet-Dži-Pi-Tiju sličan je, ali Kopilot nudi tri različita stila odgovora, pod nazivom „Choose a conversation style“: „Balanced“, „Creative“ i „Precise“. Kopilot je uveo opciju „Notebook“, koja pruža unos upita do 18,000 karaktera, što je korisno za analizu dužih upita. Kada korisnik koristi Kopilot, dobija odgovore na upite uz sugestije za nastavak razgovora, poput pitanja koja pomažu u produbljivanju teme, što je slično Čet-Dži-Pi-Tiju. Kopilot nudi i opcije u okviru tekstualnog polja, kao što su „Edit“ za izmenu već postavljenog pitanja, „Copy“ za brzo preuzimanje sadržaja, i „Search Bing“ za pretragu na internetu radi dodatnih informacija. Ispod odgovora

nalaze se opcije za ocenjivanje, kao što su „Like“ i „Dislike“, kao i opcije za kopiranje, izvoz u Vord (engl. *Word*), tekstualni format, te deljenje odgovora putem društvenih mreža.

Prilikom poređenja interfejsa Čet-Dži-Pi-Tija i Majkrosoft Kopilota, uočavaju se sličnosti u dizajnu i funkcionalnosti, koje omogućavaju jednostavno i efikasno korisničko iskustvo. Čet-Dži-Pi-Ti ima minimalistički interfejs fokusiran na tekstualnu interakciju, što omogućava brz pristup glavnoj funkciji – razmeni poruka sa veštačkom inteligencijom. Sa druge strane, Majkrosoft Kopilot pored toga što se koristi na vebu, takođe je integrisan u Majkrosoft 365 aplikacije, čime automatizuje zadatke poput generisanja dokumenata, analize podataka, itd. Oba alata pružaju intuitivnu navigaciju, brzu povratnu informaciju i lak pristup arhiviranim podacima, što značajno povećava produktivnost.

7. UPOREDNI PRIKAZ POREĐENJA ALATA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Ovakav način poređenja daje jednostavniji uvid u same karakteristike ovih alata veštačke inteligencije i prikazuje koji od njih je najpogodniji za korišćenje. Takođe, kroz uporedni prikaz, na vrlo efikasan način mogu se lako uočiti prednosti, ali i mane navedenih alata.

U tabeli 1. prikazano je šest parametara na osnovu kojih se vrši poređenje osnovne funkcionalnosti i korisničko iskustvo.

	Čet-Dži-Pi-Ti	Majkrosoft Kopilot
Konzistentnost u stilu i tonu odgovora	✓	✓
Povratna reakcija sistema	✓	✓
Korisnikova kontrola nad akcijama	✓	✓
Obaveštenje o grešci	✓	✓
Osećaj sigurnosti kod korisnika	✓	✓
Minimalistički dizajn	✓	✓

Tabela 1. Tabelarni prikaz poređenja osnovne funkcionalnosti i korisnikovog iskustva

Prvo je uzeta u obzir konzistentnost u stilu i tonu odgovora. Čet-Dži-Pi-Ti se odlikuje fleksibilnošću, prilagođavajući ton i stil prema upitu korisnika, dok Majkrosoft Kopilot zadržava formalniji i profesionalniji ton u okviru poslovnih aplikacija. Povratna reakcija sistema zadovoljava oba alata, a korisnici imaju kontrolu nad svojim akcijama i mogućnost da modifikuju upite.

Što se tiče obaveštenja o grešci, Majkrosoft Kopilot daje konkretne sugestije za ispravljanje grešaka, dok ChatGPT ne pruža jasne indikacije i prepušta korisniku da samostalno ispravi upit. Osećaj sigurnosti ispunjen je kod oba alata, pri čemu Majkrosoft Kopilot koristi rigorozne

mere zaštite podataka, dok korisnici Čet-Dži-Pi-Tija mogu biti zabrinuti zbog upotrebe njihovih podataka za poboljšanje modela. Na kraju, oba alata imaju minimalistički dizajn, što pruža lako i intuitivno korisničko iskustvo bez suvišnih elemenata.

U tabeli 2. prikazano je pet parametara na osnovu kojih se vrši poređenje naprednih funkcionalnosti i integracija kod oba alata.

	Čet-Dži-Pi-Ti	Majkrosoft Kopilot
Integracija sa drugim alatima	✓	✓
Podrška za više jezika	✓	✓
Nalikovanje realnom svetu	✓	✓
Postojanje opcije pomoći i dokumentacije	✓	✓
Komunikacija putem upita	✓	✓

Tabela 2. Tabelarni prikaz poređenja naprednih funkcionalnosti

I Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilot podržavaju integraciju sa drugim alatima, s tim da Čet-Dži-Pi-Ti zahteva dodatnu konfiguraciju za povezivanje sa drugim alatima. Majkrosoft Kopilot je duboko integrisan u Majkrosoft ekosistem, omogućavajući direktnu interakciju sa njihovim aplikacijama. Oba alata podržavaju više jezika, ali Kopilot nudi prednost kroz lokalizovane aplikacije koje su usmerene na profesionalno okruženje. Kada je reč o nalikovanju realnom svetu, oba alata teže simulaciji prirodnog jezika, ali Kopilot je više fokusiran na poslovne zadatke i interakcije u radnom okruženju. Što se tiče opcija pomoći, Čet-Dži-Pi-Ti pruža osnovne smernice, dok Kopilot ima detaljnu pomoć i dokumentaciju zahvaljujući dubokoj integraciji sa Majkrosoft uslugama.

Kada se razmatra koncept komunikacije putem upita u kontekstu alata veštačke inteligencije kao što su Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilot, važno je shvatiti da oba alata podrazumevaju specifičan način interakcije koji je sličan zadavanju komandi. Umesto klasične komandne sintakse, korisnici ovih alata koriste tzv. promptove da bi usmeravali AI model u generisanju odgovora ili predloga. Ovaj pristup koristi prednosti prirodnog jezika, čineći alate pristupačnijim za širu publiku.

8. ZAKLJUČAK

Nakon detaljne analize i poređenja interfejsa Čet-Dži-Pi-Ti i Majkrosoft Kopilota, važno je zaključiti koji od ovih alata je najpogodniji za korisnike. Oba alata su izuzetno napredna i nude različite pristupe i funkcije, što otežava postavljanje univerzalnog kriterijuma za rangiranje.

Čet-Dži-Pi-Ti se odlikuje visokom fleksibilnošću u komunikaciji, sa detaljnim interfejsom koji korisnicima pruža širok spektar mogućnosti za generisanje sadržaja i interaktivnu komunikaciju, idealan je za kreativno pisanje i personalizovanu podršku. S druge strane, Majkrosoft Kopilot nudi sveobuhvatne funkcije unutar Majkrosoft Office paketa i van njega, fokusirajući se na upravljanje dokumentima, analizu podataka i produktivnost.

Dok Čet-Dži-Pi-Ti privlači korisnike koji traže svestranu

podršku, Majkrosoft Kopilot je priznat zbog svog usredsređenja na produktivnost. S obzirom na brzi razvoj veštačke inteligencije, bilo bi korisno pratiti promene u novim verzijama ovih alata i istražiti nove, inovativne funkcije koje će se pojaviti u budućnosti.

9. LITERATURA

- [1] „Veštačka.inteligencija, Wikipedia“, url: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence [pristupljeno: 20.6.2024.].
- [2] „ChatGPT, Wikipedia“, url: <https://en.wikipedia.org/wiki/ChatGPT> [pristupljeno: 21.6.2024.].
- [3] Wahlin, Glaros, Lamos, Urban, Meenavalli, „Microsoft Copilot Overview“, url: [Adopt, extend and build Copilot experiences across the Microsoft Cloud | Microsoft Learn](https://learn.microsoft.com/en-us/microsoft-copilot/overview) [pristupljeno: 22.6.2024.].
- [4] Kaftan, Hussain, Naser, „Biochemical laboratory data study“, url: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-58964-1#Sec8> [pristupljeno: 23.6.2024.].
- [5] Leotta, Ricca, Yousaf, Garcia, Hussain, Naser, „Web E2E Testing with ChatGPT and Copilot study“, url: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3661167.3661192> [pristupljeno: 23.6.2024.].
- [6] Bengesi, El-Sayed, Irungu, Sarker, Houkpati, Oladunni, „Generative Artificial Intelligence“, url: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10521640> [pristupljeno: 24.6.2024.].
- [7] Jin, Wang, Pham, Hemmati, „An Empirical Evaluation of LLMs“, url: <https://arxiv.org/html/2402.11702v2#S1> [pristupljeno: 25.6.2024.].
- [8] Nielsen, „Usability Engineering“, Kaufmaan, 1993. [pristupljeno: 26.6.2024.].
- [9] Johnson, „Designing with the Mind in Mind: Simple Guide to Understanding User Interface Design Rules“, Kaufmann, 2010. [pristupljeno: 2.7.2024.].
- [10] Wang, „A brief history of chatbots“, url: [PDF\) From ELIZA to ChatGPT \(researchgate.net\)](https://researchgate.net/publication/378111111/A_brief_history_of_chatbots) [pristupljeno: 5.7.2024.].
- [11] Ranković, „The history of artificial intelligence“, url: <https://raf.edu.rs/citaliste/clanci/istorija/istorijski-razvoj-vestacke-inteligencije/> [pristupljeno: 6.7.2024.].

Kratka biografija:



Bojana Tekić rođena je u Bijeljini 25. oktobra 1998. godine. Osnovne akademske studije završila je 2021. godine na Fakultetu tehničkih nauka. Iste godine upisuje master akademske studije na studijskom programu Računarstvo i automatika.



PRODUKCIJSKA PRIMENA KUBERNETISA U AMAZON VEB SERVISIMA
PRODUCTION KUBERNETES DEPLOYMENT ON AMAZON WEB SERVICE

Kristina Orolić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Ovaj rad istražuje proces korišćenja Kubernetes klada specifičnom metodom eksctl u okviru AWS okruženja. Razmatraju se mikroservisi i arhitekture kontejnera, komponente Kubernetesa, arhitektura i sigurnosni mehanizmi. Razmatraju se problemi kao što su kreiranje, brisanje i produkcijski deployment korišćenjem metode eksctl.

Rezultati istraživanja pomažu u boljem razumevanju rada Kubernetes klastera i svih prednosti koje on pruža.

Ključne reči: Klad, Kubernetes, doker, mikroservisi, pod, kontrolna ravan.

Abstract – This paper explores the process of using the Kubernetes cloud with the specific method eksctl within the AWS environment. Microservices and containers, Kubernetes components, architecture and security mechanisms are discussed. Issues such as creation, deletion and production deployment using the eksctl tool are discussed.

The results of the research help in better understanding the operation of the Kubernetes cluster and all the advantages it provides.

Keywords: Cloud, Kubernetes, Docker, microservices, pod, control plane.

1. UVOD

Sa ubrzanim razvojem tehnologije i sve većom potrebom za skalabilnim rešenjima, kontejneri su postali jedan od ključnih trendova u savremenom razvoju softvera. Omogućavajući izolovano i konzistentno okruženje za aplikacije, kontejneri rešavaju mnoge probleme tradicionalnih metoda implementacije. Među različitim alatima za upravljanje kontejnerima, Kubernetes se izdvaja kao najrasprostranjeniji i najmoćniji sistem za orkestraciju kontejnera.

Kubernetes, često skraćeno kao K8s, razvijen je od strane Google-a, a kasnije je postao deo Cloud Native Computing Foundation (CNCF). Kao open-source rešenje, Kubernetes pruža robusnu infrastrukturu za automatsko upravljanje, skaliranje i održavanje kontejnerizovanih aplikacija.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Srđan Vukmirović, red. prof.

Cilj ovog rada je detaljno istražiti osnovne koncepte, arhitekturu i komponente Kubernetesa, kao i praktične

primene ove platforme u razvoju i produkciji aplikacija. Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled Kubernetesa, od njegovih osnovnih principa do naprednih tehničkih alata, kao i da ponudi praktične smernice za njegovu uspešnu primenu u različitim IT okruženjima. Analizirajući prednosti i potencijalne nedostatke Kubernetesa, ovaj rad će pružiti uvide i smernice za kontejnerizaciju aplikacija.

2. AWS - AMAZON WEB SERVICES

2.1. AWS servisi

Računarstvo u oblaku se može definisati kao model koji krajnjim korisnicima omogućava pristup Internetu, na zajednički skup resursa u oblaku. Resursi u oblaku uključuju različite servere i usluge. Ako pogledamo unazad, možemo razlikovati četiri modela primene: private cloud, community cloud, public cloud i hybrid cloud. Pored ovoga, postoje i servisni modeli od kojih su najpopularniji: Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) i Software as a Service (SaaS).

2.2. Docker kontejneri

Postoje mnoge prednosti korišćenja Docker kontejnera u poređenju sa fizičkim hardverom. Docker kontejneri i virtuelne mašine obezbeđuju bezbednije, izolovano okruženje, lakše se automatizuju, upravljaju i zamenjuju, obezbeđuju ponovljivo okruženje, nude veću sigurnost, imaju dodatne karakteristike kao npr. replikacija memorije. Da bi se moglo raditi sa Docker kontejnerima, mora se znati razlika između Docker kontejnera i Docker slike. Docker slika je šablon samo za čitanje. Ima instaliran i konfigurisan neki softver. Svaka slika ima ime i oznaku koja služi istoj svrsi kao i verzija softvera. Jedna slika može biti zasnovana na drugoj.

Za Docker kontejnere se tvrdi da su lagani i prenosivi. Dakle, kontejneri su pogodni za mikroservise. Pošto su mikroservisi slabo povezani, kvar na jednom ne bi trebalo da utiče na druge mikroservise aplikacije. Ovaj arhitektonski stil karakteriše fina granularnost i stoga čini skaliranje fleksibilnijim i efikasnim.

2.3. Kubernetes kao sistem orkestracije Docker kontejnera

Proces postavljanja više kontejnera jedne aplikacije može se optimizovati pomoću automatizacije. Ova vrsta optimizacije se naziva orkestracija. Postojala je potreba za automatskim postavljanjem i upravljanjem velikim brojem usluga na globalnom nivou na milionima servera. Iz tog razloga, Google je razvio Borg. Borg je privatni sistem orkestracije.

Kubernetes je napravljen da bi olakšao primenu, smanjio vreme i trud za deployment-e. Da bi postigao ove ciljeve, Kubernetes nudi širok izbor karakteristika: stvaranje, uništavanje i umnožavanje kontejnera, stalno ažuriranje kontejnera, ugrađene provjere, automatsko skaliranje, redundantnost i prelazak na grešku, agnostik provajdera, obezbediti isti skup funkcija, korišćenje karakteristika specifičnih za dobavljača, samoizlečenje, otkrivanje usluge, balansiranje opterećenja i orkestraciju skladištenja. Osnovna radna jedinica u Kubernetesu je pod. Pod je apstrakcija i predstavlja jednu aplikaciju, odnosno set kontejnera. Postoje dve ključne stvari o podovima: svi kontejneri u podu biće raspoređeni na jednoj mašini, pod ima dodeljenu jednu IP adresu i svi kontejneri definisani u ovom podu dele istu IP adresu.

3. UVOD U KUBERNETIS

3.1. Mikroservisi i arhitekture kontejnera

Mikroservisna arhitektura je stil arhitekture karakterističan za podelu velikih aplikacija u zbiru labavo povezanih jednostavnih usluga, koje nazivamo mikroservisima. Mikroservisi sarađuju koristeći asinhronu komunikaciju za razmenu poruka. Ovaj arhitektonski stil omogućava svakom mikroservisu koji pripada sistemu, da se njime upravlja, ažurira, razvija i primenjuje nezavisno, pojednostavljujući mogućnost održavanja i obezbeđujući skalabilnost.

3.2. Kubernetes arhitektura

Da bi se automatski postavili, konfigurisali i upravljalo sa kontejnerima, potreban je sistem orkestracije kontejnera kao što je Kubernetes. Kada se Kubernetes primeni, kreira se klaster. U arhitekturi Kubernetesa, klaster se sastoji od radnih mašina, koje se takođe nazivaju i radni čvorovi (working nodes). Svaki klaster ima bar jedan čvor.

Pod predstavlja skup pokrenutih kontejnera u klasteru. Za upravljanje radnim čvorovima i pod-ovima u klasteru je zadužen control plane. Control plane je sloj orkestracije kontejnera koji sa Kubernetes API-jem definiše, implementira i upravlja životnim ciklusom kontejnera.

3.3. Kubernetes komponente

3.3.1. Komponente

Kubernetes se sastoji od sledećih komponenti: kubernetes cluster (sastoji se od čvorova), pods (skup pokrenutih kontejnera u klasteru), kubernetes service (apstrakcija aplikacije koja radi u setu pod-ova), control plane (sloj orkestracije kontejnera, sastoji se od: kube-apiserver, etcd, kube-scheduler, kube-controller-manager, admission controller, cloud-controller-manager).

Čvorovi se sastoje od: kubelet, kube-proxy, container runtime.

Postoje i druge komponente kao što su: CNI, core DNS, ingress, ingress controller itd.

3.3.2. Networking

Kubernetes, podrazumevano, predstavlja model mreže u kome podovi mogu komunicirati međusobno kao i sa čvorovima bez upotrebe NAT-a (Network Address Translation). Agenti kao što su daemons ili Kubelet takođe mogu da komuniciraju sa svakim podom u čvoru bez ograničenja. Kontejneri u okviru poda dele IP, MAC

adrese i portove. To znači da su kontejneri u mogućnosti da komuniciraju između sebe preko local host-a ali moraju da koordiniraju preko porta koji koriste.

Kubernetes DNS dodeljuje DNS imena svakom servisu u klasteru, uključujući i DNS servis i konfiguriše kubelets koji upućuju podove da razreše DNS imena koristeći IP adresu DNS servera. Kada pod postavi DNS upit bez navođenja namespace-a, odgovor će samo da enkapsulira DNS imena u isti namespace. Konačno, DNS konfiguracija može da se uspostavi kao pod-to-pod.

Kubernetes daje preporuku za korišćenje sertifikata za obezbeđivanje komunikacije ako je servis izložen internetu. Da bi se koristili sertifikati, server mora biti indikovao da odradi posao u YAML datoteci i tajne moraju biti podešene u etcd da bi se omogućilo podovima da pristupe sertifikatima.

Postoje tri glavna identifikatora za određivanje sa kime pod može komunicirati: sa dozvoljenim podovima, sa dozvoljenim namespace-ovima ili sa dozvoljenim IP blokovima.

Podrazumevano, sve odlazne konekcije su dozvoljene u podu. Može se ograničiti broj odlaznih konekcija u modulu definisanjem mrežne politike poda. Ako postoji takva politika, jedine izlazne konekcije koje su dozvoljene za taj pod biće one koje su detaljno opisane u pomenutoj politici. Isto važi i za dolazne konekcije, podrazumevano su dozvoljene u potpunosti. Definisanje mrežne politike sa tipom ulaza će ograničiti dozvoljeni broj ulaznih konekcija sa onima koje su detaljno opisane u politici i onima iz unutrašnjosti čvora.

3.4. Kubernetes sigurnosni mehanizmi

Kubernetes uključuje nekoliko API-ja i bezbednosnih kontrola, kao i načine za definisanje smernica koje mogu da budu deo načina za upravljanje bezbednošću informacija.

3.4.1. Control plane zaštita

Ključni bezbednosni mehanizam za bilo koji Kubernetes klaster je kontrola pristupa Kubernetes API-ju.

Kubernetes očekuje da se konfiguriše i koristi TLS da bi se obezbedilo šifrovanje podataka u tranzitu unutar control plane-a i između control plane-a i njegovih klijenata. Takođe, može se obezbediti šifrovanje u stanju mirovanja za podatke uskladištene u okviru Kubernetes control plane-a. Ovo je odvojeno od korišćenja enkripcije u mirovanju za podatke o radnim opterećenjima. Tajni API pruža osnovnu zaštitu za vrednosti konfiguracije koje zahtevaju poverljivost.

3.4.2. Zaštita od opterećenja

Potrebno je primeniti bezbednosne standarde pod-a da bi se osiguralo da su pod-ovi i njihovi kontejneri izolovani na odgovarajući način. Takođe, može se koristiti RuntimeClasses da bi se definisala prilagođena izolacija ukoliko je ona potrebna.

Mrežne smernice omogućavaju da se kontroliše mrežni saobraćaj između pod-ova ili između pod-ova i mreže van klastera.

Mogu se primeniti bezbednosne kontrole iz šireg ekosistema da bi se primenile preventivne ili detektivske

kontrole oko pod-ova, njihovih kontejnera i slika koje se u njima pokreću.

3.4.3. Auditing

Kubernetes audit logging obezbeđuje hronološki skup zapisa koji dokumentuje redosled radnji u klasteru. Klaster vrši reviziju aktivnosti koje generišu korisnici, aplikacije koje koriste Kubernetes API i sam kontrolni nivo.

4. DOSTUPNE KUBERNETIS KLASITER DEPLOYMENT METODE

4.1. Alati komandne linije za primenu Kubernetes klastera

Kops predstavlja skraćenicu od Kubernetes Operations i reklamira se kao “najlakši način da se proizvodni Kubernetes klaster pokrene”. To je alatka komandne linije koja omogućava kreiranje, uništavanje, nadogradnju i održavanje Kubernetes klastera proizvodnog kvaliteta koji su visoko dostupni.

Drugi najpopularniji alat je kubespray. On takođe podržava više cloud-a: AWS, GCP, Azure, OpenStack, vSphere, Oracle Cloud Infrastructure i Baremetal. Glavna razlika između kubespray-a i kops-a je u tome što kubespray koristi Ansible (alat otvorenog koda za obezbeđivanje infrastrukture) dok kops sam obavlja obezbeđivanje i orkestraciju. Kops takođe pruža više funkcija čvrsto integrisanih sa određenim cloud-ima.

Tu je takođe i kubeadm koji za razliku od kops-a i kubespray-a pomaže da se dobije minimalni održivi klaster na način koji je prilagođen korisniku. Štaviše, njegov obim je ograničen na lokalni sistem datoteka.

4.2. Metod primene: na AWS EKS Managed Service koristeći eksctl

Cilj ove metode je da AWS upravlja control plane-om. To znači da je AWS taj koji je odgovoran za upravljanje Kubernetes glavnim komponentama, kao što su: API server, kube-scheduler, kube-controller-manager, kao i etcd. Control plane bi trebalo da bude dostupan zahvaljujući tome što je raspoređen u više zona dostupnosti. Zona dostupnosti je izolovano geografsko mesto za host-ovanje Amazon data centara. Nekoliko zona dostupnosti kreira region. Zone dostupnosti u regionu su povezane preko low-latency veza.

Control plane-u klastera prednjači Elastic Load Balancer koji takođe brine o celom umrežavanju kako bi se obezbedila povezanost instanci control plane-a do radnih čvorova. Zahvaljujući tome, AWS EKS korisnik može da pristupi Kubernetes API serveru. Da bi se koristio AWS EKS, postoje dva načina: korišćenje eksctl CLI i korišćenje AWS Management Console i AWS CLI. I jedan i drugi način zahtevaju instaliranje AWS CLI. U ovom radu korišćena je metoda sa eksctl CLI. Eksctl je zvanično CLI za AWS EKS, podržan od strane AWS-a, iako je pokrenut od strane WeaveWorks-a. Sa eksctl-om, jednostavna komanda se može koristiti za instanciranje celog klastera.

5. PRIPREME ZA PROIZVODNU IMPLEMENTACIJU KUBERNETIS KLASITERA

5.1. Odabrani zahtevi za implementaciju i acceptance criteria

Osim ako bilo koja od komponenti Kubernetes control plane-a nije zdrava, moraće biti popravljena. To ne bi trebalo da bude problem sa upravljanim Kubernetes servisima, ali za samohostovane klastere bi trebalo proveriti. Treba napomenuti da, pošto zdravstveni pregledi trebaju biti vođeni često, ne bi trebalo raditi ništa što je preskupo. Za praćenje zdravlja Kubernetes klastera, moglo bi se proveriti sledeće: broj čvorova, status zdravlja čvorova, broj podova po čvoru i ukupno, korišćenje/dodela resursa po čvoru i ukupno.

5.2. Central logging

Plan je jednostavno koristiti uslugu AWS CloudWatch servisa koristeći eksctl. AWS CloudWatch nije omogućen podrazumevano zbog gubljenja podataka i troškova skladištenja. Takođe bi trebalo da postoji mogućnost da se omogući evidentiranje na AWS CloudWatch-u kada se koristi kops.

5.3. Central Monitoring

Da bi se zadovoljio zahtev za centralno nadgledanje, planirano je da se koristi AWS CloudWatch. Postoji i rešenje - program pod nazivom Kubernetes Metrics Server. Čak iako je to server koji obezbeđuje izvor metrike resursa kontejnera, ne bi ga trebalo koristiti kao tačan izvor metrike korišćenja resursa. Njegova glavna upotreba je za CPU/Memory baziranu na horizontalnom automatskom skaliranju za automatsko prilagođavanje/predlaganje resursa potrebnih kontejnerima. Dakle, neće se koristiti za centralni nadzor, ali treba biti svestan njegovog postojanja.

5.4. Central Audit

Ovaj zahtev će se jednostavno ispuniti korišćenjem usluge AWS CloudTrail servisa. Ovaj servis treba pokazati koji korisnik je odgovoran za promene koje je uneo u AWS resources. Osim toga, AWS CloudTrail takođe može biti korišćen za otkrivanje neobičnih aktivnosti u AWS Accounts.

5.5. Autoscaling

Ideja je testirati da li će klaster, koji se sastoji od master čvorova i radnih čvorova, biti u mogućnosti da sam kreira i briše druge radne čvorove. Ova odluka, da li skalirati unutra ili spolja, treba uzeti u obzir količinu resursa dostupnih za pod-ove. Potražnja za više resursa će biti veštački kreirana povećanjem vrednosti replicaCount-a unutar NGINX Helm Chart-a.

5.6. Bezbednost

Postoji mnogo mera bezbednosni koje se mogu primeniti na klaster. Da bi ostao bezbedan, pristup Kubernetes klasteru treba biti ograničen. Bilo koja primena Kubernetesa na AWS-u će morati da se bavi umrežavanjem.

VPC je skraćena za Virtual Private Cloud i predstavlja AWS resurs koji obezbeđuje mrežne servise. Kada se kreira VPC to znači da je kreirana virtuelna privatna mreža i da je dodeljena određenom AWS nalogu. AWS resursi se mogu pokrenuti unutar tog VPC-a. Svaki VPC ima dodeljen CIDR blok. VPC ne može da obuhvata više od

jednog AWS regiona. VPC se mogu podeliti na pod mreže. Jedna pod mreža ne može obuhvatati više od jedne zone dostupnosti. Pod mreže mogu biti javne ili privatne. Ako je saobraćaj mreže preusmeren na internet gateway (koji je AWS resurs), pod mreža je poznata kao javna mreža, u suprotnom, pod mreža je privatna. To znači da javne pod mreže imaju pristup internetu.

Dakle, da bi klaster učinio bezbednim, pristup klasteru ni trebao biti ograničen. Samo jedna IP adresa treba biti dozvoljena za pristup i povezivanje.

6. PRODUKCIJSKI DEPLOYMENT KORISTEĆI EKSCTL

6.1. Kreiranje klastera

Koristeći eksctl, moguće je kreirati klaster sa eksctl create cluster komandom i bilo sa podešavanjem opcija komandne linije ili korišćenjem YAML fajla. Nakon kreiranja klastera, iz AWS konzole se mogu videti detalji klastera kao npr. API endpoint, verzija klastera, čvorovi, tagovi, monitoring, networking.

Prvo se radi deploy control plane-a, zatim i radnih čvorova. Za svaki od ova dva zadatka korišćen je poseban CloudFormation stack. Taj posao automatski odrađuje AWS EKS. Takođe, moguće je videti AWS resurse koje je obezbedio svaki CloudFormation stack.

Cloud plane-om u potpunosti upravlja AWS i on je pokrenut u dve AWS zone dostupnosti kako bi se osigurala visoka dostupnost. Krajnji korisnik čak nema pristup control plane-u, što znači da ne postoji EC2 instanca sa vidljivim master čvorom kao i da kada su izlistani svi Kubernetes čvorovi, vidljivi su samo radni čvorovi.

Takođe, neka određena podešavanja se mogu podesiti pomoću eksctl utils komande. Ova komanda će nam dozvoliti da pristupimo klaster API sa našom IP adresom.

6.2. Brisanje klastera

Da bi se klaster obrisao, potrebno je pokrenuti delete cluster komandu. Ova komanda služi za brisanje skoro svih AWS resursa, osim AWS CloudWatch LogGroup. Razlog tome je što neko može biti zainteresovan za proučavanje logova nakon što je klaster ugašen i obrisao.

6.3. Instaliranje aplikacija koristeći helm

Helm pomaže u upravljanju Kubernetes aplikacijama - Helm Charts pomaže u definisanju, instaliranju i nadogradnji čak i najsloženijih aplikacija. U ovom radu korišćen je helm za instaliranje NGINX, koji predstavlja veb server, a može služiti i kao reverzni proksi server.

Prvo, na klaster se treba instalirati NGINX repozitorijum. Kada se instalacija završi, može se izvršiti pregled NGINX servisa i pod-ova. Kada je NGINX instalacija završena, helm će kreirati ingress, sa kojim se NGINX-u može pristupiti javno.

7. ZAKLJUČAK

Na samom kraju, ovaj rad je imao za cilj da predstavi efikasnost primene Kubernetes klastera u oblaku koristeći eksctl metodu na Amazon Web Services (AWS). Korišćenjem eksctl-a, pojednostavljenog i efikasnog alata komandne linije, pojednostavljen je proces kreiranja, upravljanja i skaliranja Kubernetes klastera na AWS Elastic Kubernetes Service (EKS).

Buduća istraživanja bi se mogla fokusirati na dalju automatizaciju deplozment pipeline-a, integraciju naprednih bezbednosnih mera i optimizaciju upravljanja troškovima u okruženjima sa više klastera.

Sve u svemu, eksctl pruža moćan alat za organizacije koje žele da iskoriste Kubernetes na AWS-u, podstičući inovacije i operativnu efikasnost unutar cloud deployments-a.

8. LITERATURA

- [1] <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/components/> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Web_Services (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [4] <https://aws.amazon.com/eks/> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [5] <https://aws.amazon.com/cli/> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [6] <https://kubernetes.io/docs/concepts/services-networking/> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [7] <https://kubernetes.io/docs/concepts/services-networking/ingress/> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [8] <https://docs.aws.amazon.com/eks/latest/userguide/getting-started-eksctl.html> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [9] <https://kubernetes.io/case-studies/booking-com/> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [10] <https://kubernetes.io/docs/tasks/manage-kubernetes-objects/declarative-config/> (pristupljeno u oktobru 2024.)

Kratka biografija:

Kristina Orolić rođena je 10. februara 2000. godine u Kruševcu. Osnovnu školu "Rade Dodić" završila je u Milutovcu, dok je matematički smer gimnazije "Vuk Karadžić" završila u Trsteniku 2018. godine. Školske 2018/2019 godine upisuje Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, na studijski program Primenjeno softversko inženjerstvo. Diplomirala je 2022. godine te školske 2022/2023 godine upisuje master studije, takođe na smeru Primenjeno softversko inženjerstvo.

kontakt: kristinaorolic@gmail.com

**ОПТИМИЗАЦИЈА РАДА МИКРОМРЕЖЕ КОРИСТЕЊИ ФЛЕКСИБИЛНОСТ
ДИСТРИБУИРАНИХ ЕНЕРГЕТСКИХ РЕСУРСА****OPTIMIZATION OF MICROGRID OPERATION USING FLEXIBILITY OF
DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES**Алексеј Товиловић, Лука Стрезоски, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – У овом раду обрађене су теоријске основе о микромрежама, Дистрибуираним енергетским ресурсима (ДЕР-овима), оптимизацији у електроенергетским системима и ДЕР-ова који ће бити коришћени у овом раду. Основни циљ овог рада је да се изврши процес оптимизације с циљем минимизације губитака активне снаге уз поштовање свих напонских и техничких ограничења. Оптимизација је вршена тако што се мијењала снага ДЕР-ова за $\pm 10\%$ и пронађен је локални оптимум за сваки ресурс узимајући у обзир њихове специфичне карактеристике и ограничења. На овај начин је постигнут бољи баланс између производње и потрошње енергије у микромрежи, чиме је унапређена ефикасност система и осигурана његова стабилност.

Кључне ријечи: Микромрежа, Дистрибуирани енергетски ресурси, Оптимизација

Abstract – This paper addresses the theoretical foundations of microgrids, Distributed Energy Resources (DERs), optimization in power systems, and the DERs that will be used in this study. The primary goal of this work is to perform an optimization process aimed at minimizing active power losses while adhering to all voltage and technical constraints. Optimization was carried out by varying the power of the DERs by $\pm 10\%$ and finding the local optimum for each resource, taking into account their specific characteristics and limitations. This approach achieved a better balance between energy production and consumption in the microgrid, thereby improving system efficiency and ensuring its stability.

Keywords: Microgrid, Distributed Energy resources, Optimization

1. УВОД

Већина данашњих електроенергетских система (ЕЕС) се ослања на конвенционалне изворе енергије као што су: угаљ, гас, уље, итд. и сви од наведених имају мање или више негативан утицај на животну средину. Данас смо у прилици да доста слушамо и читамо о кориштењу обновљивих извора и начину преласка са традиционалних ЕЕС-а на мреже у којима фигуришу разни типови обновљивих извора енергије. Енергетска транзиција подразумева прелазак са традиционалних

начина производње на нове начине производње електричне енергије. Кључна карактеристика ове транзиције јесте изbacивање тренутних извора енергије (угаљ, нафта, плин) и прелазак на нове, обновљиве, изворе енергије (сунце, вјетар, вода). Новитет који носи ова енергетска транзиција јесу микромреже, које могу да задовоље широке потребе различитих заједница, од потреба великих метропола до потреба руралних средина, чије се потребе значајно разликују. То је могуће да се задовољи због велике флексибилности дистрибуираних извора енергије (енг. Distributed energy resources). Новитет који носи ова енергетска транзиција јесу микромреже, које могу да задовоље широке потребе различитих заједница, од потреба великих метропола до потреба руралних средина, чије се потребе значајно разликују. То је могуће да се задовољи због велике флексибилности дистрибуираних извора енергије (енг. Distributed energy resources). Појам микромреже се везује за стабилну електричну мрежу која омогућава да корисник сам произведе електричну енергију на лицу мјеста и користи ју када му је најпотребнија. Задатак овог рада јесте да се детаљно анализира оптимизација микромреже користећи управо флексибилност различитих типова ДЕР-ова. То је урађено на примјеру модификоване тестне мреже IEEE 13 користећи програмски пакет ЕТАП.

2. МИКРОМРЕЖЕ

Електродистрибутивни системи (ЕДС) су дијелови ЕЕС-а којима се електрична енергија преузима с преносних мрежа и дистрибуира потрошачима. Све чешће се налази на ЕДС које садрже и електране, лоциране у близини потрошачког подручја и прикључене на неку од мрежа ЕДС-а. Те електране су заправо дистрибуирани извори енергије (ДЕР-ови) који доминантно припадају групи обновљивих извора и категорији малих електрана (снаге испод 10 MW). Управо присуство ДЕР-ова претвара пасивне дистрибутивне мреже у активне дистрибутивне мреже, које више не учествују само у дистрибуцији већ и у производњи електричне енергије. У литератури се могу пронаћи разне дефиниције микромреже као и функционалне шеме. За потребе овог рада микромрежа ће бити дефинисана на исти начин као код Министарства енергетике Сједињених Америчких Држава (енг. U.S. Department of Energy), а то је: „Микромрежа је група међусобно повезаних потрошача и ДЕР-ова унутар јасно дефинисаних

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Лука Стрезоски, ванр. проф.

електричних граница који се понашају као једна контролабилна област која уважава правила и захтјеве мреже“ [2].

Микромрежа се може посматрати као самостална електрична мрежа која има способност да сама производи електричну енергију, али и способност да ту енергију користи онда када је најпотребнија у циљу побољшања перформанси, одрживости и отпорности. Микромреже имају и могућност рада док су повезане на јавну мрежу или у самосталном режиму формирајући „острво“, тада се за микромрежу каже да је у острвском режиму рада (енг. Islanded mode). Микромрежа функционише тако што прати производњу и потрошњу електричне енергије. Многи критични објекти као што су војне базе и медицински објекти користе микромреже као осигурање за непрестано напајање, с обзиром да ни једна „главна“ мрежа није отпорна на настанак кvara. Потребно је нагласити да поменута транзиција није ни мало једноставна и да и даље постоје многе техничке потешкоће које је потребно превазићи да би концепт микромреже добио свој пуни сјај. Једна од највећих потешкоћа је свакако координација релејне заштите тако да успјешно и ефикасно одреагује на сваку појаву кvara у мрежама. Тренутно се сматра да је адаптивна релејна заштита кључ за овај проблем, али је потребно још много истраживања и рада у овом пољу да би се достигао задовољавајући ниво [3].

3. DISTRIBUIRANI ENERGETSKI RESURSI

Дистрибуирани извори енергије претежно се односе на мање генераторске јединице које су лоциране непосредно уз потрошаче. Типична снага ДЕР-ова је до 10 мегавата (MW). Они могу бити прикључени на постојећу електро-мрежу или да самостално чине мрежу. Неки од ДЕР-ова који се користе у пракси су: соларни панели, вјетро-генератори, батеријска складишта, батерије у електричним возилима, генератори на биомасу, горивне ћелије (мини)хидро електране, дизел генератори, итд. ДЕР-ови побољшавају напонске прилике у мрежи, смањују губитке и доприносе већој поузданости у снабдијевању како градских тако и руралних подручја. С обзиром на снагу производње, ДЕР-ови се могу подијелити у следеће категорије:

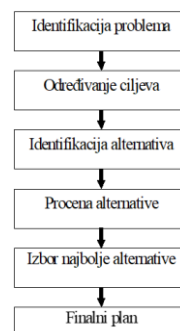
- МИКРО ДЕР – снага мања од 2 kW и повезан на нисконапонску мрежу
- МИНИ ДЕР – снага између 2 kW и 10 kW за једнофазне ДЕР-ове или 30 kW за трофазне
- ДЕР – снага између 10 (30) kW и 1 MW
- СРЕДЊИ ДЕР – снага између 1 MW и 5 MW
- ВЕЛИКИ ДЕР – снага већа од 5 MW

За потребе овог рада кориштени су следећи ДЕР уређаји: два солара, један дизел генератор, један вјетро-генератор и једна батерија.

4. ОПТИМИЗАЦИЈА

Под појмом оптимизације подразумева се добијање најбољег могућег резултату у складу с претходно постављеним условима. У току процеса пројектовања, изградње или одржавања било ког система потребно је донијети низ одлука уз задовољавање одређених услова тако да се као крајњи

исход добије минимална или максимална вриједност у зависности од постављених критеријума. У свим практичним ситуацијама могуће је ангажовање или жељену добит изразити као функцију одређених управљачких промјених па се оптимизација може дефинисати и као процес проналажења одређених услова тако да се добија минимална или максимална вриједност функције [5]. У општем случају, оптимизацију чине следећи кораци:



Слика 1. Основни кораци процеса оптимизације [4]

С обзиром да што је оптимизациони проблем тежи то су мање шансе да се дође до глобалног оптимума врло често се као довољно прихватљиво ријешење узима локални оптимум. Уколико резултати нису прихватљиви, односно тежи се глобалном оптимуму, тада се најчешће приступа покретању алгоритма из више почетних тачака, које се најчешће одређују на основу инжењерског искуства и очекиваних резултата, и тада се добије већи број резултата из више различитих почетних тачака и као крајње ријешење се прихвата оно које највише задовољава оптимизациони критеријум. Некада ни овај приступ не даје довољно добре резултате па је у том случају потребно користити неки од глобалних оптимизационих метода.

4.1. ОПТИМИЗАЦИЈА МИКРОМРЕЖЕ

Оптимизација микромреже односи се на процес побољшања перформанси, ефикасности и поузданости микромрежних система. Микромреже су аутономни енергетски системи који могу радити самостално или паралелно с централизованим мрежама, обично користећи обновљиве изворе енергије и складиштење енергије. Оптимизација микромреже тежи интеграцији технологија, управљању и економским факторима како би се осигурало да микромреже пружају стабилно, економично и одрживо снабдијевање енергијом у локалним заједницама или индустријским постројењима. Један од најважнијих критеријума оптимизације како у дистрибутивним мрежама тако и у микромрежама јесте критеријум минималних губитака активне снаге. Активна снага јесте она снага која се користи за обављање корисног рада у системима или се претвара у топлотну енергију, док се реактивна снага не може користити за обављање корисног рада, већ најчешће служи за одржавање електромагнетског поља. Значај смањивања губитака активне снаге најбоље се огледа у томе да се сва та снага која се претворила у губитке могла искористити за користан рад. Оптимизација напона представља регулацију напона у различитим чворовима мреже и то је једна од главних функција коју обавља свака

дистрибутивна мрежа. Оптимизација напона се врши да би се одржавао жељени напонски ниво у систему [9]. Поред одржавања напона на жељеној вриједности, овај оптимизациони критеријум је битан и због осигуравања жељене ефикасности у снабдјевању електричном енергијом и поузданости система.

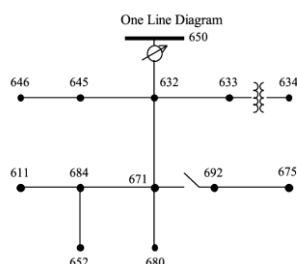
Оптимизација снага у мрежи за циљ има да одржи равнотежу између производње и потрошње електричне енергије у микромрежи. Потребно је максимално искористити ресурсе мреже, уз задовољавање критеријума поузданости и ефикасности, тако да је производња електричне енергије једнака или већа од потрошње електричне енергије у мрежи. Уколико постоји вишак електричне енергије у мрежи она се складишти тако да је доступна у моментима када производња енергије у односу на потрошњу буде у дефициту. На баланс снаге у мрежи може да утиче више фактора, а то су: количина обновљиве енергије која се генерише, губици у гранама, количина варијабилности оптерећења.

5. СОФТВЕРСКИ АЛАТ ЕТАП

За потребе овог рада коришћен је софтверски алат ЕТАП. ЕТАП је данас на тржишту најкомплетнији и најмоћнији алат који служи за моделовање и симулацију система електричне енергије, оптимизује системе напајања електричном енергијом на основу дигиталних еквивалената.

5.1. ТЕСТ МРЕЖА

У овом раду је као модел тестне мреже кориштена IEEE 13 тест мрежа, која је модификована да би се на њу могли прикључити ДЕР-ови. IEEE тест мреже представљају скуп стандардизованих електричних мрежа које су дефинисане од стране IEEE.



Слика 2. IEEE 13 тест мрежа [6]

IEEE 13 мрежа је кључни алат у истраживању и развоју електроенергетских система, омогућујући симулацију различитих сценарија и евалуацију перформанси различитих технологија и алгоритама у сигурном и контролисаном амбијенту. У софтверском алату ЕТАП кориштена је модификована уравнотежена мрежа, која се састоји од водова једнаке дужине од 500 метара. Сви водови имају идентичне електричне параметре: отпорност $R = 0,17325 \Omega$, реактанса $X = 0,50895 \Omega$ и сусцептибилност $B = 3,1499 \mu S$. Микромрежа је прикључена на дистрибутивну мрежу напонског нивоа 115 kV преко прекидача који омогућава острвски рад микромреже. На сабирници 1 повезан је дизел генератор снаге 800 kW. У чворовима 5 и 7, преко инвертора су повезане соларне електране снаге 800 kW, док је у чвору 14 повезана вјетроелектрана снаге 600kW. У чвору 12 се налази батерија снаге 35 kW, која је повезана преко инвертора

како би се омогућила акумулација енергије. У циљу побољшања фактора снаге у чворовима 10 и 13 су прикључени кондензатори. Прије поступка оптимизације губици активне снаге у мрежи износе 17.8kW, док губици реактивне снаге износе 59.2 kVAr.

5.2. ОПТИМИЗАЦИЈА СОЛАРНИХ ЕЛЕКТРАНА

У овом дијелу рада врши се оптимизација соларних електрана ПВ_1 и ПВ_4 тако што ће се постепено мијењати снага соларне електране за +/- 10%. Обе соларне електране у иницијалном стању раде са 486 kW од укупних 800kW. При смањењу снаге производње у случају ПВ_4 за 10%, повећавају се губици активне снаге, када се снага ПВ_4 повећа за 10% долази до смањења губитака од 0.1 kW. Повећањем снаге за још 10% губици се додатно смањују за 0.2 kW. У случају соларне електране ПВ_1 и при повећању и смањењу губитака долази до повећања губитака, тако да је локални оптимум у овом случају достигнут за снагу 486 kW. У Табели 1 приказани су укупни губици активне снаге у мрежи прије и након оптимизације соларних електрана.

Табела 1. Укупни губици у мрежи након оптимизације ПВ_1 и ПВ_4

УКУПНИ ГУБИЦИ ПРИЈЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ	17.8 kW
УКУПНИ ГУБИЦИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ СОЛАРНИХ ЕЛЕКТРАНА ПВ_1 и ПВ_4	17.6 kW

5.3. ОПТИМИЗАЦИЈА БАТЕРИЈЕ

Следећи ДЕР чијом оптимизацијом ће се покушати смањити укупни губици активне снаге је батерија која је на мрежу повезана преко инвертора. У почетном тренутку снага батерије је 23.1 kW. Снага ће се постепено мијењати за 10% у циљу достизању што бољих перформанси мреже, односно у циљу смањења укупних губитака активне снаге. Повећање снаге батерије од 20% резултира смањењем губитака у мрежи. У Табели 2 приказани су губици у мрежи након оптимизације батерије.

Табела 2. Укупни губици у мрежи након оптимизације батерије

УКУПНИ ГУБИЦИ ПРИЈЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ БАТЕРИЈЕ	17.6 kW
УКУПНИ ГУБИЦИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ БАТЕРИЈЕ	17.5 kW

Битно је напоменути да се повећавањем снаге батерије не утиче само на губитке у мрежи, већ се утиче и на напоне, реактивну снагу, фактор снаге и оптимизацију оптерећења. На напоне утиче тако што брзо реагује на флукуације у производњи и потрошњи енергије, ослобађајући енергију када је потражња висока, односно апсорбујући вишак енергије када је потражња ниска. Затим, уколико се батерије користе за компензацију реактивне снаге то даље побољшава фактор снаге и стабилност напона у мрежи. Оптимизација оптерећења се огледа у томе што повећањем снаге има могућност да доприноси равнотежи током различитих временских услова и потреба.

5.4. ОПТИМИЗАЦИЈА ВЈЕТРОГЕНЕРАТОРА

У наставку овог рада, у циљу додатног смањења активних губитака у мрежи, извршиће се

оптимизација производње вјетрогенератора. Смањењем снаге са иницијалних 528 kW на 475.2 kW добијају се укупни активни губици у мрежи који су за 0.1 kW мањи у односу на почетно стање и овим смањењем снаге су и даље задовољена сва техничка ограничења. Смањењем снаге за још 10%, односно уколико је снага вјетрогенератора 444.4 kW, долази до повећања укупних губитака активне снаге у мрежи за 0.2 kW у односу на почетни тренутак и поред повећања губитака долази и до нарушавања техничких ограничења тако да је то вриједност одбачена као могућност. Уколико се снага вјетрогенератора повећа за 10%, тако да је нова снага вјетрогенератора 580.8 kW тада се повећавају и укупни губици активне снаге у мрежи за 0.3 kW. С обзиром на све наведено долази се до закључка да је најмања вриједност губитака у мрежи када вјетрогенератор ради снагом од 475.2 kW. У табели 3 дат је приказ губитака активне снаге у мрежи након оптимизације вјетрогенератора.

Табела 3. Укупни губици у мрежи након оптимизације вјетрогенератора

УКУПНИ ГУБИЦИ ПРИЈЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ВЈЕТРОГЕНЕРАТОРА	17.5 kW
УКУПНИ ГУБИЦИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ ВЈЕТРОГЕНЕРАТОРА	17.4 kW

5.5. ОПТИМИЗАЦИЈА ДИЗЕЛ ГЕНЕРАТОРА

Дизел генератори играју кључну улогу у микромрежама, пружајући поуздан извор енергије у ситуацијама када други извори, попут обновљивих извора или главне мреже, нису доступни. Они обезбјеђују стабилност напона и фреквенције, што је од виталног значаја за одржавање непрекидног и стабилног напајања. Осим тога, дизел генератори подржавају микромрежу током периода вршних оптерећења, допуњајући енергију из обновљивих извора и батерија како би се задовољиле повећане потребе за енергијом. Оптимизација дизел генератора у микромрежи може значајно побољшати ефикасност и економичност система. Кроз анализу и прилагођавање радних параметара дизел генератора, као што су учесталост рада, капацитет и вријеме рада, могуће је смањити трошкове горива и одржавања, а истовремено повећати дуговјечност опреме. У овом раду вршена је анализа дизел генератора у почетном случају, када је снага производње 650 kW. Затим је смањена снага производње за 10%, односно на 585 kW а након тога је повећана снага производње такође за 10% и тада је она износила 715 kW. У случају додатног смањења снаге дизел генератора за додатних 10%, долази до погоршања енергетских перформанси у микромрежи. То доводи до повећања укупних губитака активне снаге, што је непожељно за стабилност система. У наставку рада дата је табела гдје се пореде губици прије и послје оптимизације дизел генератора.

Табела 4. Укупни губици у мрежи након оптимизације дизел генератора

УКУПНИ ГУБИЦИ ПРИЈЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ДИЗЕЛ ГЕНЕРАТОРА	17.4 kW
УКУПНИ ГУБИЦИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ ДИЗЕЛ ГЕНЕРАТОРА	17.1 kW

6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

У табели 5 дат је приказ укупних губитака активне снаге за почетно стање мреже, након оптимизације соларних електрана ПВ_1 и ПВ_4, затим након извршене оптимизације батерије и оптимизације вјетрогенератора и на крају након оптимизације дизел генератора. Након тога је извршена анализа резултата и дат је закључак рада.

Табела 5. – Укупни губици у мрежи након оптимизације ДЕР-ова прикључених у мрежи

УКУПНИ ГУБИЦИ АКТИВНЕ СНАГЕ У МРЕЖИ У ПОЧЕТНОМ ТРЕНУТКУ [kW]	17.8
УКУПНИ ГУБИЦИ АКТИВНЕ СНАГЕ У МРЕЖИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ ПВ 1 И ПВ 4 [kW]	17.6
УКУПНИ ГУБИЦИ АКТИВНЕ СНАГЕ У МРЕЖИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ БАТЕРИЈА [kW]	17.5
УКУПНИ ГУБИЦИ АКТИВНЕ СНАГЕ У МРЕЖИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ ВЈЕТРОГЕНЕРАТОРА [kW]	17.4
УКУПНИ ГУБИЦИ АКТИВНЕ СНАГЕ У МРЕЖИ НАКОН ОПТИМИЗАЦИЈЕ ДИЗЕЛ ГЕНЕРАТОРА [kW]	17.1

Из табеле 5 се види да су се губици након извршене оптимизације сваког ДЕР-а који је прикључен у мрежи смањили за одређену вриједност. Када се сумирају сви резултати из табеле 6.1. види се да су укупни губици активне снаге у мрежи мањи за 0.7 kW у односу на почетни тренутак, односно укупни губици активне снаге су мањи за око 4%. Ако се узме у обзир да је укупна генерисана снага у микромрежи ок 2.3 MW долази се до закључка да губици износе нешто испод 1% укупне производње микромреже. Јако је битно напоменути да ово није глобални оптимум, већ је у раду систематичним и прецизним радом пронађен локални оптимум за кориштене ДЕР-ове.

7. ЗАКЉУЧАК

Овај рад се фокусирао на оптимизацију микромреже користећи флексибилност дистрибуираних енергетских ресурса (ДЕР-ова) са циљем смањења губитака активне снаге и побољшања напонских прилика у мрежи. Истраживање је показало да промијене у снази ДЕР-ова могу значајно утицати на ефикасност мреже и смањење губитака. Прије оптимизације, губици у мрежи су износили 17.8 kW. Након имплементације оптимизације, која је укључивала подешавање снаге двије соларне електране, једне батерије, једног вјетро и једног дизел генератора, губици су смањени на 17.1 kW. Ово смањење показује значајан допринос флексибилности ДЕР-ова у побољшању енергетске ефикасности мреже. Уз смањење губитака, оптимизација је резултирала и побољшањем напонских прилика у чворовима мреже. Напонска ограничења постављена на $\pm 10\%$ номиналног напона на свим дионицама мреже су након оптимизације задовољена, што указује на побољшање стабилности и поузданости напона у мрежи.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Luka V. Strezoski: Modelovanje I fundamentalni proračuni aktivnih distributivnih mreža, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2021.
- [2] Arundhati Mukherjee: Sustainable microgrid: decentralize, digitalize, decarbonize.

[3] Luka V. Strezoski: Distributed energy resource management systems – DERMS: State of the art and how to move forward, 2022.

[4] Željko Popović: Analiza i upravljanje distributivnim mrežama, Predavanja – Novi Sad, 2022.

[5] U.S. Department of Energy: Federal energy management program.

[6] Link: https://www.researchgate.net/figure/IEEE-13-node-test-feeder_fig2_339887346

Кратка биографија:



Алексеј Товиловић рођен је у Котор Варошу 1999. год. Основне студије на Факултету техничких наука на одсијеку електроенергетски системи завршио је 2022. Контакт: tovilovic.aleksej618@gmail.com



др Лука Стрезоски рођен је у Новом Саду 1990. Докторирао је на Факултету техничких наука 2017. год., а од 2020 је изабран за шефа катедре. Област интересовања су електроенергетски системи.

**ПРИМЕНА *IN-TOTO* ПЛАТФОРМЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ
СОФТВЕРСКИХ ЛАНАЦА ИСПОРУКЕ****APPLICATION OF THE *IN-TOTO* PLATFORM FOR ENHANCING SECURITY OF
SOFTWARE SUPPLY CHAINS**

Николина Тошић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област– ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – Рад анализира безбедносне изазове у софтверским ланцима испоруке и испитује како *in-toto* платформа може да помогне у њиховом решавању. Пружа преглед функција које платформа нуди за праћење и обезбеђивање животног циклуса развоја софтвера, уз разматрање предности и ограничења.

Кључне речи: аутоматизација, интегритет софтверског ланца испоруке, верификација софтверских артефаката, безбедност софтвера

Abstract – The paper analyzes security challenges in software supply chains and examines how the *in-toto* platform can help address them. It provides an overview of the platform's feature for monitoring and securing the software development lifecycle, along with a consideration of its advantages and limitations.

Keywords: Automation, integrity of the software supply chain, verification of software artifacts, software security

1. УВОД

Процес развоја софтвера је прилично сложен и укључује бројне кораке, алате и актере, и сходно томе јављају се и изазови у обезбеђивању интегритета и безбедности софтвера током свих фаза тог развоја и испоруке. Софтверски ланац испоруке (енгл. *Software supply chain*) обухвата све активности од писања кода, преко тестирања и интеграције, до крајње дистрибуције производа и свака од ових фаза ланца представља могућу тачку напада или манипулације која компромитује сигурност и квалитет софтвера [1]. Главна претња код софтверских система јесу управо напади на софтверски ланац. Један од скорашњих напада, *SolarWinds hack* [2], показује како нападачи могу убацивати злонамерни код у поуздане процесе, што доводи до огромних последица где је на хиљаде организација погођено. Напади попут замењивања зависности (енгл. *Dependency confusion*) [3] користе слабости у управљању пакетима тако што убацују злонамерне верзије библиотеке, што додатно

Многе организације немају адекватне провере за безбедност компоненти које користе, ослањајући се на поверење уместо криптографске верификације.

In-toto платформа [4] кроз праћење и верификацију свих корака у софтверском ланцу испоруке пружа решење за ове изазове. Омогућава евидентирање свих корака који су предузети током развоја, тестирања и дистрибуције софтвера, пружајући могућност да се сваки артефакт и његова историја измена прате и верификују. Циљ *in-toto* је да осигура да сваки корак у процесу развоја буде извршен на предвиђен начин и да нема неовлашћених или злонамерних измена [5]. Отворени пројекти и компаније попут *Debian*, *Datadog* и *Gitlab* су имплементирали *in-toto* у своје *CI/CD* процесе како би осигурали интегритет свог софтвера. Ово указује на практичну примену овог решења и његов потенцијал за широку употребу у различитим софтверским екосистемима.

2. СОФТВЕРСКИ ЛАНАЦ ИСПОРУКЕ

Софтверске апликације састављене су од мреже компоненти и библиотека отвореног кода, где већина наслеђује функционалности из других извора. Овај ланац зависности омогућава брз развој софтвера, али такође излаже организације рањивостима које уводе промене изван њихове контроле. Софтверски ланац представља велики, растући, међусобно повезани систем технологија, људи и процеса, који представљају могућа места напада [1].

Како се спољне услуге (енгл. *outsourcing*) и повећана употреба комерцијалних готових производа шире, а крајњи корисници користе прилике да реконфигуришу или изврше додатне допуне на имплементираним производима и системима, тако сигурносни ризик у ланцу расте. Уобичајене грешке код софтвера лако могу бити искоришћене од стране неовлашћених лица како би променили сигурносна својства и функционалност софтвера у злонамерне сврхе. Такве грешке могу бити случајно или намерно убачене у софтвер у било којој фази његовог развоја или употребе, а крајњи корисници имају ограничене начине да пронађу и исправе те грешке како би избегли њихову злоупотребу.

3. СТАЊЕ У ОБЛАСТИ

Безбедност развоја софтвера [6] постаје све значајнија тема због све веће зависности од трећих страна (енгл.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Горан Сладић, ред. проф.

third-party libraries) и отворених библиотека (енгл. *open-source libraries*). Како се софтверски екосистеми усложњавају и повезују, тако се повећава и број напада који искоришћавају слабе тачке овог ланца.

3.1 Значајни инциденти и претње

У *SolarWinds* нападу [2], нападачи су компромитовали један од *Orion* сервера и убацили код у један од модула ажурирања. Позадинско ажурирање које је било дигитално потписано, испоручено је за отприлике 18.000 *SolarWinds* купаца укључујући НАТО, *Microsoft*, *Intel* и бројне друге компаније као и владине организације. Овај код познат као *Sunburst*, био је део легитимног ажурирања које су корисници инсталирали без икаквих знакова компромитације. Напад је открио безбедносне слабости у управљању софтверских ланаца снабдевања јер је нападачима омогућено да се прикрију унутар легитимног софтвера и добију приступ осетљивим информацијама.

Замењивање зависности је још један начин напада на ланац развоја. У овим нападима актери покушавају да искористе уобичајену праксу коришћења трећих страна и менаџера пакета за аутоматско преузимање и инсталирање неопходних пакета за њихову примену [7]. Најчешће се на јавни репозиторијум постави малициозни пакет са истим називом као познати пакети. Пример овог напада јесте напад на *PyTorch*, где је нападач поставио зависност *torchtrition* на *PyPI* која је била названа исто као и у званичној *PyTorch* библиотеци. Како *PyPI* обично има предност при преузимању зависности у *Python* екосистему, злонамерни пакет је повучен током инсталације уместо *PyTorch* легитимног пакета.

3.2 Постојећа решења за безбедност ланца испоруке

Током година развијено је неколико решења за побољшање безбедности софтверског ланца. Једно од најранијих решења је коришћење криптографске верификације, као што је потписивање артефаката помоћу *GPG* (енгл. *GNU Privacy Guard*) кључева. Ови криптографски потписи омогућавају програмерима да провере интегритет и аутентичност софтвера пре него што га имплементирају. Иако ова метода обезбеђује основни ниво безбедности, управљање великим бројем кључева може постати компликовано, нарочито у великим системима [8].

Други приступи укључују развој специфичних оквира као што је *The Update Framework (TUF)*. *TUF* је дизајниран да обезбеди сигурност процеса ажурирања софтвера, штитећи га од напада. Његов главни циљ је обезбеђивање валидности софтверских артефаката који се преузимају и анализирају, да долазе из поузданих извора и да нису компромитовани. Ипак, *TUF* је фокусиран пре свега на процес ажурирања, док постоји потреба за решењима која могу покрити шири спектар развојног процеса.

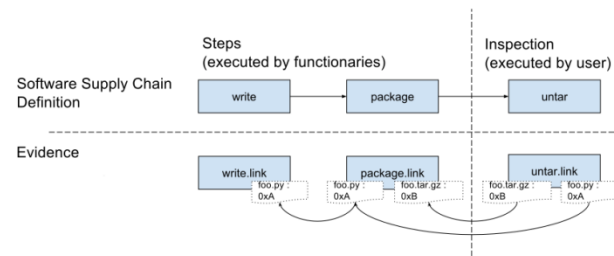
Supply-chain Levels for Software Artifacts (SLSA) је још један оквир дизајниран да побољша безбедност софтверског ланца. Основна сврха *SLSA* је да обезбеди систематичан приступ за управљање ризицима који настају током развоја и дистрибуције

софтвера, унапређујући сигурност на свим нивоима. Дефинише четири нивоа безбедности, од којих сваки укључује различите захтеве и мере.

За разлику од решења као што је *TUF*, које се фокусира на ажурирање, *in-toto* се фокусира на праћење и проверу интегритета сваког корака у животном циклусу софтвера. Кључне карактеристике *in-toto* платформе укључују праћење порекла, које омогућава верификацију сваког корака у процесу развоја, чиме се обезбеђује да свака промена буде проверена и аутентификована. *In-toto* такође користи криптографске метаподатке који омогућавају да се сваки артефакт који је креиран током развоја може верификовати и проверити његов интегритет.

4. IN-TOTO

У овом поглављу биће представљена *in-toto* платформа која спроводи интегритет софтверског развоја прикупљањем криптографских информација о самом процесу (слика 1).



Слика 1. In-Toto софтверски ланац

Да би се ово постигло, *in-toto* захтева да власник пројекта (енгл. *project owner*) декларише и потпише распоред (енгл. *layout*), ко и на који начин треба да спроводи кораке у процесу развоја. За корак који су извршили, актери снимају радњу и креирају криптографски потписану изјаву (енгл. *link metadata*). Снимљени метаподаци се могу верификовати како би се осигурало да су сви кораци изведени на одговарајући начин и од ауторизоване особе на начин дефинисан у *layout*-у. *Layout* као и метаподаци чврсто повезује улазе и излазе корака у ланцу, што осигурава да не дође до неовлашћеног приступа међу корацима. *Layout* дефинише и додатне захтеве како би се обезбедио квалитет крајњег производа [9].

4.1 Модел претњи

Модел претњи (енгл. *threat model*) односи се на безбедносне претње и ризике који су повезани са ланцем испоруке софтвера, а које *in-toto* покушава да ублажи. Главне претње које *in-toto* адресира су [9]:

- Неовлашћене измене – *in-toto* обезбеђује да сваки корак буде потписан од стране овлашћене особе;
- Инсајдерски напади – *in-toto* смањује ову претњу пружајући запис о томе ко је извршио сваки корак и које радње су предузете;
- Напади поновним коришћењем (енгл. *replay attacks*) – *in-toto* то спречава употребом јединствених метаподатака за сваки корак, осигуравајући да стари или већ коришћени кораци не буду поновљени;

- Компромитовање *build* система - *in-toto* бележи метаподатке на сваком кораку, осигуравајући да није дошло до манипулације;
- Нападаци могу компромитовати треће стране или спољне зависности – *in-toto* помаже да се осигура да су све спољне зависности верификоване и да су исправно проверене пре него што буду укључене у процес израде.

4.2 Безбедносни циљеви

Како би се изградио сигуран ланац испоруке софтвера потребно је испунити следеће циљеве:

- Интегритет ланца софтвера – сви кораци дефинисани у ланцу се изводе по наведеном редоследу, што значи да се ниједан корак не може додати, изменити или уклонити;
- Интегритет тока артефаката – сви артефакти коришћени у корацима не смеју се мењати између њих;
- Провера аутентичности корака – кораке могу изводити само особе које за то имају дозволу
- Постепено смањење безбедности (енгл. *graceful degradation*) – чак и ако су одређени кораци у ланцу угрожени, безбедност система није у потпуности нарушена.

4.3 *In-toto* улоге

Као и други безбедносни системи, *in-toto* користи сигурносне концепте попут делегација и улога како би смањив штету у случају да криптографски кључ буде компромитован. У контексту *in-toto* улога је скуп радњи и дужности које актер треба да изврши [9]. Постоје три улоге у оквиру *in-toto*:

- Власник пројекта – страна задужена за дефинисање ланца испоруке софтвера, дефинише које кораке треба извршити и ко их извршава;
- Функционери – стране које обављају кораке и обезбеђују записе о артефактима који се користе као материјали и њихови производи унутар ланца. Функционери су идентификовани помоћу јавних кључева које користе за потписивање;
- Корисник – људи или алати који користе финални производ, верификују производ.

4.4 *In-toto* компоненте

In-toto садржи три главне компоненте које раде заједно како би обезбедиле интегритет и сигурност софтверског ланца испоруке:

- Распоред – поставља структуру ланца испоруке који омогућава власницима пројекта да дефинишу захтеване кораке за све фазе;
- Линк метаподаци – представљају запис да су се кораци прописани у распореду десили. Материјали и поља метаподатака користе се како би се осигурало да ниједан међупроизвод није измењен у ланцу пре него што се употреби у кораку;

- Крајњи производ – *in-toto* осигурава да је производ прошао кроз проверене и сигурносне кораке без неовлашћених промена.

4.5 *In-toto* команде

In-toto пружа скуп команди које омогућавају управљање и верификацију токова безбедности софтверског ланца. Неке од главних команди су:

- *in-toto-record*
- *in-toto-verify*
- *in-toto-sign*
- *in-toto-verify-signature*

5. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА *IN-TOTO*

In-toto платформа имплементирана је и тестирана у оквиру *Python* апликације уз коришћење *Jenkins CI/CD* система, где је власник пројекта креирао репозиторијум и потребне датотеке, док су функционери имали задатке да измене, тестирају и пакују код. *In-toto* је инсталирана унутар *Docker* слике што омогућава креирање изолованог и конзистентног окружења. *Docker* омогућава лако управљање зависностима и гарантује да се *in-toto* алат покреће у предвидљивом окружењу. *Jenkins* се користи за аутоматизацију и праћење интегритета целокупног процеса развоја софтвера. *In-toto* пружа транспарентност и сигурност праћењем свих корака у ланцу, док *Jenkins* аутоматизује те кораке.

CryptoSigner класа из модула *securesystemslib.signer* [10] је класа која омогућава потписивање података коришћењем различитих криптографских алгоритама. Креира дигитални потпис за одређени сет података. *CryptoSigner* подржава различите криптографске алгоритме, као што су *RSA*, *ECDSA* и *Ed25519*, што омогућава флексибилност у избору механизма потписивања.

Layout из модула *in_toto.models.layout* [11] представља структуру која дефинише распоред корака у *in-toto* процесу. Кључни аспекти *Layout* класе су следећи:

- Структура кључева – *Layout* садржи информације о јавним кључевима који се користе за потписивање метаподатака;
- Дефинисање корака – *Layout* омогућава пројектантима да дефинишу низ корака који се морају пратити приликом развоја и испоруке софтвера. Сваки корак има одређене акције за које се очекује да буду извршене, као и кључеве особа којима је дозвољено да их извршавају;
- Провере – осим корака *Layout* може укључивати и инспекције које дефинишу додатне провере које треба обавити пре него што се производ испоручи клијенту.

5.1 Верификација

Верификација је кључни део *in-toto*, који осигурава да су сви кораци у ланцу изведени исправно и у складу са дефинисаним распоредом. Процес се састоји од неколико фаза:

1. Прикупљање метаподатака – када се заврши процес израде, метаподаци се прикупљају и чувају. Они укључују информације о свим корацима, материјалима, производима као и потписима који потврђују аутентичност тих корака;
2. Провера интегритета – *in-toto* користи криптографске хеш функције да би верификовао интегритет материјала и производа као што је претходно поменуто;
3. Верификација потписа – поред провере интегритета, *in-toto* такође проверава потписе повезане са метаподацима. Потписи су генерисани од стране овлашћених лица који су извршили одређене кораке у процесу;
4. Верификација распореда – *in-toto* проверава да ли су сви кораци у складу са распоредом, што укључује да ли су сви очекивани материјали и производи присутни. Уколико неки од корака недостају или нису правилно извршени, процес верификације ће пријавити грешку;
5. Извештавање – након завршетка процеса верификације, кориснику се пружа извештај који укључује информације о успешности верификације, као и све потенцијалне грешке или неусаглашености. Ово омогућава корисницима да брзо идентификују и реше проблеме.

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказано решење за сигурност ланца испоруке софтвера, које пружа свеобухватну заштиту од широког спектра претњи које могу настати током развоја и испоруке софтверских производа.

Примарна предност *in-toto* у односу на друге постојеће алате за безбедност јесте у транспарентности коју пружа у процесу развоја софтвера, где на овај начин сви актери имају јасно дефинисане улоге. Може да се користи у различитим окружењима, чиме се повећава флексибилност и скалабилност алата. На практичном примеру је приказано да је безбедност софтверског ланца испоруке могућа, и да може аутоматски да се изврши уз коришћење *in-toto* платформе.

Рад на развоју стандардизованих интерфејса који омогућавају лако повезивање *in-toto* са другим безбедносним алатима и платформама може побољшати његову употребљивост и ефикасност. Укључивање вештачке интелигенције може помоћи у препознавању образаца и потенцијалних претњи, чиме би се побољшала брзина и тачност анализе безбедности. Увођење напреднијих метода потписивања и интеграције, као што су квантно-отпорни алгоритми може додатно осигурати отпорност система на будуће претње.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Beatriz M. Reichert, Rafael R. Obelheiro, “*Software supply chain security: a systematic literature review*”. International Journal of Computers and Applications 1-15, 2024
- [2] Antigoni Kruti, Usman Butt, Rejwan Bin Sulaiman, “*A review of the SolarWinds Attack on Orion Platform using Persistent Threat Agent and Techniques for gaining Unauthorized Access*”, arXiv preprint arXiv:2308.10294, 2023
- [3] Riku Kestila, “*Acknowledging the risks of open source dependencies to software supply chain security*”, (Master's thesis), 2022
- [4] <https://in-toto.io/> (приступ 5.11.2024.)
- [5] Santiago Torres-Arias, Thrishank Karthik Kuppusamy, Reza Curtmola, Justin Capps, “*in-toto: Providing farm-to-table guarantees for bits and bytes*”, In *28th USENIX Security Symposium (USENIX Security 19)* (pp. 1393-1410), 2019
- [6] Michael Lieberman, Brandon Lum, “*Securing the Software Supply Chain*”, Maning, 2023
- [7] Leah Roberts, “*Countermeasures for preventing malicious infiltration on the information technology supply chain*”, (Doctoral dissertation, Purdue University) 2023
- [8] Phong Q. Nguyen, “*Can We Trust Cryptographic Software? Cryptographic Flaws in GNU Privacy Guard v1.2.3*”, In *Advances in Cryptology-EUROCRYPT 2004: International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques, Interlaken, Switzerland, May 2-6, 2004. Proceedings 23* (pp. 555-570). Springer Berlin Heidelberg, 2004
- [9] Santiago Torres-Arias, “*in-toto: Practical Software Supply Chain Security*”, New York University Tandon School of Engineering, 2020
- [10] <https://github.com/secure-systems-lab/securesystemslib> (приступ 5.11.2024.)
- [11] <https://in-toto.readthedocs.io/en/latest/layout-creation-example.html> (приступ 5.11.2024.)

Кратка биографија:



Николина Тошић рођена је 1999. године у Новом Саду. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства – електронско пословање одбранила је 2024.године.

Контакт: nikolinasosic999@gmail.com

OPTIMIZACIJA SEČENJA DVIDIMENZIONALNIH ELEMENATA PRIMENOM EVOLUTIVNIH ALGORITAMA**OPTIMIZATION OF TWO DIMENSIONAL CUTTING STOCK PROBLEM USING EVOLUTIONARY ALGORITHMS**

Milica Popović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SOFTVERSKO INŽENJERSTVO I INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

Kratak sadržaj – U radu su predstavljena dva evolutivna algoritma za optimizaciju sečenja dvodimenzionalnih elemenata: genetski algoritam i evoluciono programiranje. Implementirane su dve strukture podataka za reprezentaciju jedinki, i različiti mehanizmi za selekciju, ukrštanje i mutaciju jedinki. Implementirana je i varijacija genetskog algoritma koja primenjuje tabu pretragu umesto standardnih mehanizama mutacije. Algoritmi su evaluirani nad problemima za upoređivanje koji zahtevaju sečenje do 2700 elemenata.

Ključne reči: Optimizacija sečenja dvodimenzionalnih elemenata, Genetski algoritam, Evoluciono programiranje, Tabu pretraga

Abstract – This paper presents two evolutionary algorithms for the solution of 2D cutting stock problem: genetic algorithm and evolutionary programming. Two data structures were implemented for the representation of individuals, along with various mechanisms for selection, crossover and mutation. A variation of genetic algorithm that applies tabu search instead of standard mutation mechanisms was also implemented. The algorithms were evaluated on benchmark problems that require cutting up to 2700 elements.

Keywords: 2D Cutting stock problem, Genetic algorithm, Evolutionary programming, Tabu search

1. UVOD

Tema ovog rada je rešavanje problema sečenja dvodimenzionalnih elemenata, sa ciljem da se minimizuje količina utrošenog materijala. Pod dvodimenzionalnim elementima se podrazumevaju elementi koji imaju izražene dve dimenzije, širinu i visinu, i koji su pravougaonog oblika. Prilikom sečenja ovakvih elemenata, svi rezovi moraju biti obavljeni celokupnom širinom, odnosno visinom elementa. Takvi rezovi se u ovom radu nazivaju rezovima od ivice do ivice (eng. *Guillotine cut*). Takođe, dozvoljeni su samo oni rezovi koji su paralelni sa jednom od ivica materijala. U ovom radu su implementirana dva algoritma za rešenja ovog problema, a to su genetski algoritam i evoluciono programiranje.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Zoran Jeličić, red. prof.

2. PREGLED LITERATURE

Zbog kompleksnosti problema optimizacije sečenja dvodimenzionalnih elemenata, i zbog njegove široke primene u industriji, velik broj radova se bavi rešavanjem ovog problema. pristupi za rešavanje problema se mogu ugrubo podeliti na pristupe zasnovane na linearnom programiranju i pristupe zasnovane na heurističkim metodama. Većina ranijih radova rešava ovaj problem primenom tehnike generisanja kolona [1].

Mane pristupa zasnovanih na tehnici generisanja kolona su to što broj kolona eksponencijalno raste sa porastom veličine problema, kao i to što troše mnogo računarskog vremena. Često su dobri za probleme manje i srednje veličine [1]. Kako bi prevazišli ograničenja ovih pristupa, neki od novijih radova su implementirali pristupe zasnovane na evolutivnim algoritmima [2, 3].

3. GENETSKI ALGORITAM

Genetski algoritam je optimizacioni algoritam, koji oponaša proces prirodne evolucije. Faze genetskog algoritma su: inicijalizacija populacije, evaluacija prilagođenosti jedinki, selekcija roditeljskih jedinki, njihovo ukrštanje, mutacija i odabir jedinki naredne generacije. Koraci genetskog algoritma su objašnjeni u nastavku.

3.1. Reprezentacija jedinki

U ovom radu su implementirane dve strukture podataka za reprezentaciju jedinke, a to su izraz sa dva tipa operatora, u postfiksnoj notaciji i permutacija rednih brojeva kojima su označeni traženi elementi.

3.1.1 Jedinka kao izraz u postfiksnoj notaciji

Idea reprezentacije jedinke kao izraza u postfiksnoj notaciji jeste da se predstavi način za međusobno uklapanje elemenata koje je potrebno iseći, tako da oni mogu biti obuhvaćeni elementima standardnih dimenzija. Pri tome se smatra da se dva elementa mogu uklopiti tako što se ređaju horizontalno (operator H) ili vertikalno (operator V) jedan do drugog, i to tako da rezultujući, pravougaoni element koji ih obuhvata bude minimalne površine. Operandi u ovim izrazima su redni brojevi traženih elemenata, kojima se može dodati negativan predznak kako bi se naznačilo to da je element rotiran za 90 stepeni [3].

3.1.2 Jedinka kao permutacija

Reprezentacija jedinke kao permutacije podrazumeva to da se jedinka matematički predstavlja kao permutacija (1):

$$\pi = (x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (1)$$

U formuli (1), N predstavlja broj traženih elemenata i takođe važi (2):

$$x_i = \begin{cases} -i, & \text{element } i \text{ je rotiran} \\ i, & \text{element } i \text{ nije rotiran} \end{cases} \quad (2)$$

To znači da je jedinka reprezentovana kao sekvenca prema kojoj traženi elementi mogu biti upakovani u kontejner fiksne širine i beskonačne visine, po heuristici *dole ulevo* (eng. *Bottom Left*) [2].

Prilikom pakovanja svakog od traženih elemenata u kontejner, potrebno je odabrati pravougaoni deo slobodnog prostora u koji će posmatrani element biti upakovan. Potom se posmatrani element postavlja u donji levi ugao pravougaonog dela slobodnog prostora. Nakon pakovanja elementa, preostali slobodni prostor se može podeliti na dve nove, disjunktne pravougaone površine, i to na dva načina: po horizontalnoj osi i po vertikalnoj osi. Stoga je neophodno odrediti heuristike po kojima će se vršiti odabir dela slobodnog prostora za pakovanje i podela preostalog dela slobodnog prostora nakon pakovanja. U ovom radu je kao heuristika za odabir dela slobodnog prostora za pakovanje primenjena heuristika koja minimizuje dužinu preostale kraće stranice pravougaonog dela slobodnog prostora [4]. S druge strane, kao heuristika za podelu preostalog dela slobodnog prostora je implementirana heuristika koja deli prostor po kraćoj osi, nezavisno od dimenzija preostalog slobodnog prostora [4].

3.2. Generisanje početne populacije

Da bi mogao započeti proces pretrage prostora rešenja, potrebno je generisati inicijalnu populaciju. Za to je najpre potrebno odrediti njenu veličinu. Veličina populacije može značajno da utiče na uspešnost i performanse algoritma. Ukoliko je populacija premala, algoritam ima tendenciju da prerano konvergira do lokalnog optimuma. S druge strane, ako je populacija prevelika, dolazi do uvećanja računarske složenosti algoritma. U ovom radu je veličina populacije postavljena na 800, za algoritme koji ne implementiraju tabu pretragu, a za algoritme koji je implementiraju na 200.

Jedinke koje će biti deo inicijalne populacije se generišu nasumično. Ukoliko je jedinka reprezentovana kao izraz, potrebno je voditi računa o tome na kojim pozicijama se smeju nalaziti operatori, kako bi izraz bio validan. Takođe, u generisanom izrazu broj operatora mora biti za jedan manji od broja operanada.

3.3. Evaluacija

Za svaku jedinku u populaciji je potrebno odrediti koliko je ona kvalitetno rešenje problema. U ovom radu, cilj je minimizovati broj upotrebljenih elemenata standardnih dimenzija, i količinu otpada, a pri tome zadovoljiti potrebe naručioca. Pojam količine otpada se u ovom kontekstu odnosi na neiskorišćeni deo minimalne pravougaone površine koja obuhvata tražene elemente, u sklopu svakog upotrebljenog elementa standardnih dimenzija.

Funkcija prilagođenosti je definisana kao funkcija troška, odnosno cilj je da njena vrednost bude minimalna. Funkcija troška je zadata formulom (3):

$$|S| + \frac{W \cdot H^* - \sum_{i=1}^N w_i \cdot h_i}{W \cdot H^*} + \max(0, W^* - W) + \frac{|\{s \in S | h_s > H\}|}{|S|} \cdot 100 \quad (3)$$

U formuli (3), S predstavlja minimalni skup elemenata koje bi trebalo upotrebiti za sečenje, h_s je visina upotrebljenog elementa s , W i H su standardna širina, odnosno visina, w_i i h_i su širina, odnosno visina i -tog traženog elementa, W^* je širina kontejnera u koji su upakovani elementi, H^* je visina dela kontejnera minimalne povišine, koji obuhvata upakovane elemente, a P je koeficijent za penalizovanje prekoračenja širine standardnih elemenata, koji je u ovom radu postavljen na 100.

3.4. Selekcija

Implementirana su dva algoritma za selekciju jedinki, a to su ruletska selekcija sa linearnom normalizacijom i turnirska selekcija. U okviru ruletske selekcije sa linearnom normalizacijom, jedinke se sortiraju prema prilagođenosti, od najlošije do najbolje prilagođene. Zatim se simulira okretanje ruletskog točka onoliko puta koliko je jedinki potrebno selektovati. Pri tome je širina svakog polja na točku srazmerna rangui odgovarajuće jedinke. Turnirska selekcija podrazumeva održavanje turnira između q nasumično odabranih jedinki, onoliko puta koliko je potrebno odabrati jedinki za ukrštanje. U sklopu turnira, jedinke se porede po vrednosti funkcije troška. U ovom radu, veličina turnira je postavljena na 3.

Takođe, implementiran je elitistički model genetskog algoritma, koji nalaže da se iz svake generacije 2-5% najbolje prilagođenih jedinki direktno prenese u iduću generaciju, a da se ostale jedinke iz populacije zamene potomačkim jedinkama. Na ovaj način je osigurano to da genetski materijal najbolje prilagođenih jedinki neće biti izgubljen kroz proces smene generacija.

3.5. Ukrštanje

Od algoritama za ukrštanje, implementirani su parcijalno mapirano ukrštanje (eng. *Partially Mapped Crossover*), redosledno ukrštanje (eng. *Order Crossover*) i modifikovano redosledno ukrštanje. Modifikovano redosledno ukrštanje se razlikuje od redoslednog ukrštanja po tome što se geni iz segmenata roditeljskih jedinki ne kopiriraju na odgovarajuće pozicije potomačkih jedinki, već na njihov početak.

U slučaju da su jedinke reprezentovane kao izraz, prvo se geni razdvajaju prema tipu, odnosno operandi se grupišu odvojeno od operatora. Potom se uzimaju delovi sačinjeni od operanada roditeljskih jedinki, te se nad njima obavlja proces ukrštanja [3]. Nakon što se od dva roditeljska niza operanada dobiju dva potomačka, neophodno je spojiti ih sa operatorima roditeljskih jedinki, kako bi se dobile dve nove validne jedinke. Jedinke reprezentovane kao permutacija sadrže gene koji su svi istog tipa. Zbog toga, u ovom slučaju nije potrebno implementirati dodatne korake koji prethode samom algoritmu ukrštanja, ili koji mu slede.

3.6. Mutacija

U slučaju reprezentacije jedinke kao izraza, kao standardni mehanizam mutacije je implementirana dvotačkasta zamena gena u jedinki (eng. *Two point swap*), sa mogućnošću invertovanja pojedinačnih gena. Invertovanje gena se može odnositi na promenu operatora ili na promenu predznaka operanda, u zavisnosti od toga da li je posmatrani gen operator ili operand. Pri tome je neophodno osigurati to da mutirana jedinka predstavlja validan izraz. U slučaju reprezentacije jedinke kao permutacije, implementirana su dva standardna algoritma za mutaciju, a to su dvotačkasta zamena i trotačkasta zamena gena u jedinki (eng. *Three point swap*), uz invertovanje gena. Pri tome se pod invertovanjem gena smatra samo promena predznaka rednog broja kojim je označen posmatrani gen.

Takođe, implementirana je varijacija genetskog algoritma, u okviru koje su standardni mehanizmi mutacije zamenjeni tabu pretragom. Tabu pretraga (eng. *Tabu search*) je metaheuristička tehnika koja omogućava pretraživanje prostora rešenja. Počinje od jedne, početne jedinke, te identifikuje njoj susedne jedinke. U svakoj iteraciji tabu pretrage, bira se najbolje prilagođena jedinka iz susedstva koja nije dotad posećena, kako bi se sprečili ciklusi u pretrazi. Zatim se odabrana jedinka markira posećenom, tako što se dodaje u listu tabua, i postavlja se kao novo najbolje rešenje ukoliko ima manju vrednost funkcije troška od dotad najboljeg rešenja. Na kraju, najbolje prilagođena jedinka iz susedstva se bira kako bi zamenila posmatranu jedinku [5]. Kao susedstvo jedinke za potrebe tabu pretrage, posmatraju se jedinke koje su dobijene od posmatrane jedinke zamenom mesta dva nasumično odabrana gena ili invertovanjem gena. Zatim se od svih generisanih suseda nasumično bira njih 25 koji će biti posmatrani u sklopu tabu pretrage, kako bi se ograničilo vreme izvršavanja algoritma.

4. EVOLUCIONO PROGRAMIRANJE

Evoluciono programiranje (eng. *Evolutionary programming*) je još jedan optimizacioni algoritam iz porodice evolutivnih algoritama. Značajna razlika u odnosu na genetski algoritam je to što se u sklopu evolucionog programiranja ne primenjuje korak ukrštanja jedinki, već je mutacija jedini mehanizam pretrage prostora rešenja. Kao način za reprezentaciju jedinke, odabrane su iste dve strukture kao i u slučaju genetskog algoritma. Takođe, odabrani su isti mehanizmi za generisanje inicijalne populacije, evaluaciju i mutaciju. Od mehanizama mutacije implementiranih u sklopu genetskog algoritma, jedino tabu pretraga nije implementirana u sklopu evolucionog programiranja, kako algoritam ne bi zahtevao previše vremena za izvršavanje.

4.1. Selekcija jedinki za prelazak u narednu generaciju

Mehanizam koji se razlikuje u odnosu na genetski algoritam jeste selekcija. Implementirana su tri algoritma za selekciju jedinki koje će preći u narednu generaciju, a to su: turnirska selekcija sa razigravanjem, stohastičko univerzalno uzorkovanje i stohastičko univerzalno uzorkovanje sa linearnom normalizacijom.

U sklopu turnirske selekcije sa razigravanjem, svaka jedinka se takmiči sa 25 nasumično odabranih protivničkih jedinki. Potom se jedinke sortiraju po broju pobeda, i

odabira se onoliko jedinki sa najviše pobeda koliko je potrebno da pređe u narednu generaciju. Stohastičko univerzalno uzorkovanje predstavlja modifikaciju ruletske selekcije. Umesto simuliranja okretanja ruletskog točka sa jednim pokazivačem, onoliko puta koliko je potrebno selektovati jedinki, simulira se okretanje ruletskog točka koji ima onoliko pokazivača koliko je jedinki potrebno selektovati, jedanput. Pri tome je veličina segmenata na ruletskom točku obrnuta srazmerna vrednosti funkcije troška jedinki [6]. U okviru stohastičkog univerzalnog uzorkovanja sa linearnom normalizacijom, u obzir se uzima rang jedinke prema vrednosti funkcije troška, umesto same vrednosti funkcije troška. To znači da je veličina segmenata na ruletskom točku srazmerna rangu jedinki, a ne samoj vrednosti funkcije troška.

5. REZULTATI

U ovom poglavlju su analizirani i upoređeni rezultati primene genetskog algoritma i algoritma evolucionog programiranja za rešenje problema sečenja dvodimenzionalnih elemenata. Pri evaluaciji kvaliteta rešenja, posmatrani su sledeći kriterijumi:

- Prosečan broj dostupnih elemenata koje je neophodno upotrebiti (posmatra se razlika u odnosu na teoretski minimum)
- Prosečan procenat dobijenog otpada
- Prosečan broj iteracija algoritma
- Prosečno vreme izvršavanja algoritma

Implementirani algoritmi su podeljeni u četiri grupe:

1. Genetski algoritam, jedinka reprezentovana kao izraz
2. Genetski algoritam, jedinka reprezentovana kao permutacija
3. Evoluciono programiranje, jedinka reprezentovana kao izraz
4. Evoluciono programiranje, jedinka reprezentovana kao permutacija

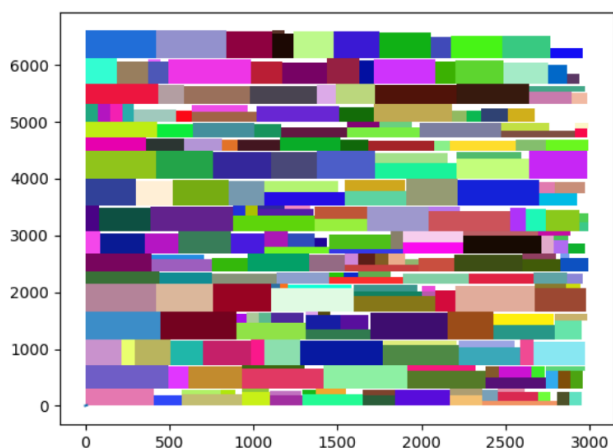
Zatim su svi algoritmi evaluirani nad skupom od 30 problema za upoređivanje iz [7], kako bi se identifikovao najbolji algoritam u svakoj grupi, te i najbolji algoritam sveukupno. Dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Prosečni rezultati dobijeni primenom najboljih algoritama iz grupa 1-4

	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 4	Grupa 4
Broj elemenata za sečenje	1.43	0.43	2.02	0.47
Procenat optada	0.22	0.18	0.23	0.20
Broj iteracija	204.77	141.6	1189.15	493.73
Vreme izvršavanja (s)	11847.9	4844.7	232.1	952.6

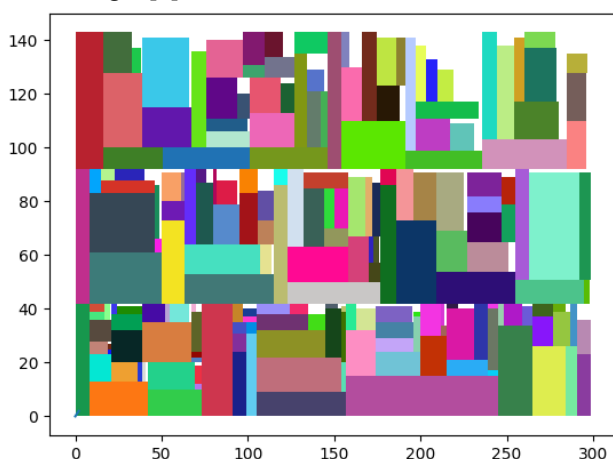
Nakon što su relevantni kriterijumi uzeti u obzir, kao najbolji je odabran algoritam evolucionog programiranja, u okviru kog su jedinke reprezentovane kao permutacija, koji kao mehanizam selekcije implementira turnirsku selekciju, a kao mehanizam mutacije implementira višestruku dvotačkastu zamenu gena, uz mogućnost invertovanja gena.

Algoritam je dalje evaluiran nad skupom problema iz [8], koji nalažu sečenje između 250 i 2700 elemenata. Dobijeni rezultati su pokazali da se odstupanje od teoretskog optimuma za broj upotrebljenih elemenata za sečenje kreće u opsegu između 0 i 5, a da se procenat dobijenog otpada kreće se u opsegu između 6.8 i 10. Na slici 1 je prikazan primer rešenja problema AB_5 iz skupa problema za upoređivanje [8].



Slika 1. Primer rešenja problema AB_5 iz skupa [8]

Takođe, algoritam je primenjen nad skupom problema koji zahtevaju sečenje između 17 i 199 elemenata, nad kojima je evaluiran i algoritam implementiran u radu [2]. Pokazalo se da odstupanje od rezultata iz rada [2], u prosečnim dobijenim vrednostima, nije veće od 3%. Na slici 2 je prikazan primer rešenja problema T7c, iz skupa problema navedenog u [2].



Slika 2. Primer rešenja problema T7c iz skupa problema datom u [2]

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljeno rešenje problema sečenja dvodimenzionalnih elemenata, sa rezovima od ivice do ivice, pomoću genetskog algoritma i algoritma

evolucionog programiranja. Nakon evaluacije algoritama nad skupom problema za upoređivanje, kao najbolji je odabran algoritam evolucionog programiranja, u okviru kog su jedinke reprezentovane kao permutacija, koji kao mehanizam selekcije implementira turnirsku selekciju, a kao mehanizam mutacije implementira višestruku dvotačkastu zamenu gena, uz mogućnost invertovanja gena. Algoritam se dobro pokazao i prilikom rešavanja problema sečenja do 2700 elemenata, pri čemu maksimalno odstupanje od teoretskog optimuma iznosi 5. Takođe, algoritam je upoređen sa rezultatima iz rada [2], te je u proseku dobijeno odstupanje ne veće od 3% od rezultata iz tog rada.

Rešenje problema sečenja dvodimenzionalnih elemenata bi se moglo generalizovati dozvoljavanjem upotrebe dostupnih elemenata različitih dimenzija. Takođe, bilo bi korisno uzeti u obzir redosled sečenja elemenata, kako bi se minimizovao broj zamena na mašini za sečenje, a samim tim i vreme utrošeno na sečenje.

7. LITERATURA

- [1] Mellouli, A. and Dammak, A., 2008. An algorithm for the two-dimensional cutting-stock problem based on a pattern generation procedure. *Inf Manag Sci*, 19(2), pp.201-218.
- [2] Gharsellaoui, H. and Hasni, H., 2011. An hybrid genetic algorithm for two-dimensional cutting problems using guillotine cuts. In *Proceedings of the International Conference on Genetic and Evolutionary Methods (GEM)* (p. 1). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- [3] Ono, T. and Ikeda, T., 1999, July. Optimizing two-dimensional guillotine cut by genetic algorithms. In *Proc. of the Ninth AJOU-FIT-NUST Joint Seminar* (pp. 40-47).
- [4] Jylänki, J., 2010. A thousand ways to pack the bin-a practical approach to two-dimensional rectangle bin packing. retrieved from <http://clb.demon.fi/files/RectangleBinPack.Pdf>
- [5] Glover, F., 1990. Tabu search: A tutorial. *Interfaces*, 20(4), pp.74-94.
- [6] Jebari, K. and Madiafi, M., 2013. Selection methods for genetic algorithms. *International Journal of Emerging Sciences*, 3(4), pp.333-344
- [7] <https://github.com/Oscar-Oliveira/OR-Datasets/tree/master/Cutting-and-Packing/2D/Datasets/C>
- [8] <https://github.com/Oscar-Oliveira/OR-Datasets/tree/master/Cutting-and-Packing/2D/Datasets/AB>

Kratka biografija:



Milica Popović je rođena 23.11.2000. godine u Banjaluci. Osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka, smer Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije, završila je 2023. godine. Master akademske studije na istom smeru je završila 2024. godine. kontakt: milica.popovic720@gmail.com

ДИГИТАЛНИ АСИСТЕНТ ЗА ОДГОВАРАЊЕ НА ПИТАЊА У ДОМЕНУ ОСИГУРАЊА**INSURANCE DOMAIN QUESTION-ANSWERING DIGITAL ASSISTANT**Стефан Драгичевић, Јелена Сливка, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКО И РАЧУНАРСКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Кратак садржај – У овом раду представљен је развој напредног четбот система намењеног за аутоматизовано одговарање на питања из области осигурања. Систем је имплементиран као веб апликација која омогућава корисницима брз и јасан одговор на постављено питање. Систем се састоји од неколико кључних модула: модула за претпроцесирање упита, модела за проналажење релевантних питања (модел високог одзива), модела за филтрирање и одабир најрелевантнијег одговора (модел високе прецизности), модула за класификацију сентимента одговора и модула за издвајање кључних речи.

Кључне речи: Процесирање природног језика, дигитални асистент за конверзацију, класификација сентимента

Abstract – This paper presents the development of an advanced chatbot system designed to answer insurance-related questions automatically. The system is implemented as a web application that provides users with quick and clear answers to their questions. The system consists of several key modules: a query preprocessing module, a model for finding relevant questions (high recall), a model for filtering and selecting the most relevant answer (high precision), a sentiment classification module, and a keyword extraction module.

Keywords: NLP, chatbot, LSTM, sentiment classification

1. УВОД

У последњих неколико година, дигитални асистенти за конверзацију, односно, четботови (*chatbots*), су постали кључни део дигиталне трансформације и интеракције са корисницима [1]. Са растућим утицајем вештачке интелигенције (ВИ) и аутоматизације процеса, четботови су постали снажан алат за компаније и организације широм света. Ови дигитални асистенти омогућавају интеракцију са корисницима кроз текстуалне или гласовне команде, нудећи одговоре на упите, решавајући проблеме и пружајући корисничку подршку у реалном времену.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је била др Јелена Сливка, ванр. проф.

Једна од кључних предности четботова лежи у њиховој сталној доступности. Независно од временске зоне или локације, корисници могу добити тренутне одговоре на своја питања или решити недоумице у било ком тренутку. Овај рад се фокусира на развој четбота који је намењен одговарању на питања из области осигурања који, поред тога, има и способност препознавања кључних речи одговора, као и могућност анализирања сентимента одговора. Овакав четбот може бити имплементиран на разним веб сајтовима како би побољшао корисничко искуство и смањио оптерећење корисничког центра.

Четбот се састоји од више независних модула:

1. Модул за претпроцесирање упита
2. Модел који враћа сва питања која би могла бити релевантна за дати упит. Битна особина овог модела је да има велики одзив (*high recall*).
3. Модел који филтрира одговоре које је вратио *high recall* модел. Битна особина овог модела је да има високу прецизност (*high precision*) како би од свих релевантних одговора вратио одговор који најбоље одговара задатом упиту.
4. Модел за класификацију сентимента пронађеног одговора.
5. Модел за проналажење кључних речи у пронађеном одговору.

Сваки модел је обучаван независно, на различитим скуповима података, и евалуиран метрикама које одговарају датом задатку. Сви модели дају прилично добре резултате, што омогућава високе перформансе целокупне апликације. Поређења ради, најбољи модел за проналажење најсличнијег питања на *benchmark* тестовима [7] има тачност од 92,3% док *LSTM* (*Long short-term memory*) модел који је коришћен у овом раду има тачност од 89% на скупу података за тестирање. Директно поређење резултата које дају модели у овом раду са онима из литературе није могуће јер овај рад користи тест скупове података који се разликују од оних из литературе.

2. ПРЕГЛЕД СТАЊА У ОБЛАСТИ

Овај рад се бави решавањем више мањих проблема повезаних са сличношћу реченица, класификацијом сентимента и издвајањем кључних речи. Због тога ће ово поглавље бити организовано у потпоглавља која обрађују сваки од ових проблема.

2.1. Сличност речи и реченица

У раду [2] предложена је употреба *Word2Vec* методе за одређивање сличности између речи. Свака реч се трансформише у вектор унапред дефинисане дужине. Током тренинга *Word2Vec* анализира велике корпусе текста и учи да предвиђа речи које се појављују у околини циљане речи (*skip-gram*) или обрнуто, да предвиђа циљану реч на основу околних речи (*continuous bag of words*). Овакав приступ је ефикасан јер семантички сродне речи заузимају блиске позиције у векторском простору. Модел је обучаван на википедији, при чему је за поређење речи коришћено косинусно растојање. За евалуацију се користио Пирсонов коефицијент корелације, чије вредности варирају између -1 и 1, где вредност 1 указује на потпуну корелацију.

Рад [3] предлаже да се за одређивање сличности између реченица користи сијамски *LSTM* модел. За обучавање тог модела је коришћен *SICK* скуп података који се састоји од 10 000 парова реченица на енглеском језику. Сваки пар реченица има оцену сличности од 1 до 5 које је добијена усредњавањем процене 10 различитих особа. За евалуацију модела је коришћена Пирсонова корелација. Будући да је модел из студије [3] евалуиран на другачијем скупу података, директна компарација резултата тог истраживања са налазима овог рада није могућа. Аутори студије [3] наводе да њихов модел постиже средњу квадратну грешку од 0.5093, што сматрају задовољавајућим резултатом.

2.2. Класификација сентимента

Сентимент реченице може се утврдити применом различитих приступа. Они укључују лексичке методе, технике базиране на дефинисању правила и методологије машинског учења. У раду [4] су описане предности и мане сваке од ових метода. Рад [4] не наводи скуп података који је коришћен за обучавање и евалуацију модела, али је закључено да методе засноване на машинском учењу дају боље резултате у односу на остале методе које су испробане.

Рад [5] пореди најпопуларније библиотеке за класификацију сентимента које користе лексички приступ. Међу анализираним библиотекама налазе се *NLTK*, *Vader* и *Textblob*. За евалуацију је употребљен скуп који обухвата 11 861 реченицу на енглеском језику, класификованих као позитивне или негативне. Најбоље перформансе остварила је *Vader* библиотека са прецизношћу од 77%, док је *Textblob* показао нешто слабије резултате са тачношћу од 74%. Одзив и Ф-мера ових приступа показују сличне вредности, око 80%.

2.3. Издавање кључних речи

Количина података доступних на интернету експоненцијално расте. За ефикасну организацију и препоручивање овог садржаја, неопходна је идентификација кључних термина. Рад [6] предлаже да се за решавање проблема одређивања кључних речи користи *TF-IDF*. У раду [6] се користи ненадгледано учење јер је аотирање кључних речи напорно и временски захтевно, док резултати могу бити субјективни. За овај експеримент су у раду [6] коришћена два скупа података, *News* и *Computer*. За евалуацију резултата су аутори користили прецизност,

одзив и Ф-меру. Анализа је показала значајну зависност резултата од параметра који дефинише број селектованих кључних речи, са варијацијама које достижу и 10%. Упркос томе, истраживање демонстрира да предложена методологија постиже задовољавајуће резултате.

3. МЕТОД

У овом поглављу је представљена имплементација четбота који одговара на питања из осигурања. Улаз у овај систем представља питање које је корисник поставио, а излаз из система је одговор на најсличније питање из базе, његов сентимент и наглашене кључне речи. Имплементација се састоји из дела за претпроцесирање (поглавље 3.1), *high recall* дела (поглавље 3.2), *high precision* дела (поглавље 3.3), као и модула за класификацију сентимента (поглавље 3.4) и модула за издавање кључних речи (поглавље 3.5).

3.1. Претпроцесирање

Претпроцесирање текста представља есенцијалну фазу у припреми података за моделе машинског учења и обраде природног језика. Процес трансформише корисничко питање у векторску репрезентацију погодну за даљу анализу. Кључне фазе обухватају:

1. Елиминацију стоп речи и специјалних карактера који не доприносе значењу текста.
2. Нормализацију текста конверзијом у мала слова.
3. Лематизацију, која своди речи на њихов речнички облик.
4. *Stemming* технику, која је тестирана али није имплементирана због инфериорних резултата.
5. Векторизацију помоћу *word2vec* модела.
6. Генерисање вектора реченице сумирањем појединачних вектора речи, што је метода која показује добру ефикасност у пракси [16].

Идентичан процес се примењује на сва питања у бази података, обезбеђујући конзистентност у обради и прецизно поређење упита.

3.2. *High recall* део: враћање свих могућих одговора

Ова фаза је кључна у системима за одговарање на питања, јер омогућава проналажење релевантних информација из постојеће базе знања. Улаз у овај део је векторизовано питање, које представља резултат претходног корака претпроцесирања. Излаз је скуп најсличнијих питања из базе, који ће се даље користити за генерисање одговора. Процес проналажења најсличнијих питања укључује следеће кораке:

1. Поређење векторизованог питања са свим питањима из базе. Поређење се врши у векторском простору, где свако питање представља тачку у том простору.
2. Примена *KNN* (*K-Nearest Neighbors*) модела за проналажење најсличнијих питања
3. Одабир метрике сличности. У коначној верзији система, *KNN* модел користи Менхетн метрику за мерење удаљености између векторизованих питања јер су експерименти показали да ова метрика даје најбоље резултате у овом конкретном случају.

4. *KNN* модел проналази 150 питања из базе која су најсличнија постављеном питању према Менхетн метрици.

Овај приступ омогућава ефикасно претраживање велике базе питања и проналажење оних која су најсличнија корисничком упиту.

3.3. *High precision* део: филтрирање добијених одговора

Циљ овог дела је да пронађе питање из претходно издвојеног скупа које је најсличније корисничком упиту. Улаз у овај део чине 150 издвојених питања из претходног корака, као и оригинално питање које је поставио корисник. Излаз је одговор на најсличније питање пронађено у бази.

За поређење сличности питања и одговора је коришћена сијамска *LSTM* неуронска мрежа дизајнирана за мерење сличности између парова секвенци. Сијамска мрежа се састоји од две идентичне подмреже које деле исте параметре. Свака подмрежа обрађује по једно питање, а затим се њихови излази комбинују како би се израчунала мера сличности.

Сијамска *LSTM* мрежа је претходно тренирана на великом скупу парова питања, где је учила да разликује слична од различитих питања. Ово тренирање омогућава мрежи да ефикасно мери семантичку сличност између питања, чак и када она нису формулисана на идентичан начин.

За свако од 150 питања из базе, сијамска *LSTM* мрежа генерише скор који представља степен сличности датог питања са корисничким питањем. Овај скор је нумеричка вредност која квантификује колико су два питања семантички блиска. Сва питања из базе се рангирају на основу добијених скорова сличности, а питање са највишим скором се сматра најсличнијим корисничком упиту. Одговор који је повезан са изабраним најсличнијим питањем у бази се узима као коначан одговор на корисничко питање.

3.4. Модул за класификацију сентимента

Након проналажења одговора на корисничко питање, тај одговор се прослеђује ансамблу модела који класификују сентимент, а који се састоји од *XGBoost*, *SVM* (*Support Vector Machines*) модела и лексичког приступа. Излаз из сваког модела се множи одговарајућим тежинама. Тежине су: 0.4 за *XGBoost* модел, 0.4 за *SVM* модел и 0.2 за лексички модел. Ове тежине су одабране јер *XGBoost* и *SVM* модели показују знатно боље перформансе у поређењу са лексичким моделом, те, у случају супротстављених предикција ових модела, коначну одлуку доноси лексички модел. Излаз из овог модула је број у опсегу од 0 до 1, при чему се свака вредност већа од 0.5 сматра као позитиван сентимент.

3.5. Модул за издвајање кључних речи

Улаз у овај модул је одговор на питање из кога се извлаче кључне речи. Процес започиње анализом текста коришћењем техника обраде природног језика. Означавају се делови говора (*POS tagging*), где се свака реч у тексту класификује према својој граматичкој улози, као што су именице, глаголи и придеви.

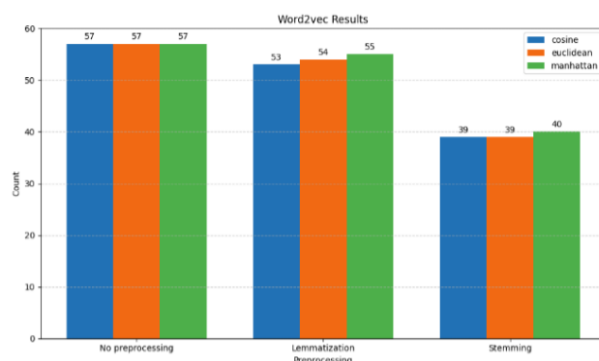
У овом случају, фокус је на именицама јединине и множине, као и на властитим именицама. Именице се детектују помоћу *NLTK* библиотеке. Након идентификације именица, оне се рангирају помоћу *TF-IDF* методе. Из рангиране листе именица се извлачи пет најзначајнијих, које се сматрају кључним речима текста. Ове речи представљају суштинске концепте и теме обрађене у анализираном одговору. Одабран је приказ пет кључних речи омогућава јер се тако омогућава брз увид у главне теме текста, без преоптерећивања корисника превеликим бројем информација.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

За потребе овог истраживања коришћена су три главна скупа података. Скуп података који је коришћен за тренирање четбота да препозна најсличније питање је *Quora dataset* [8]. Овај скуп података служи за тренирање *LSTM*-а како би могао да пронађе најсличније питање из базе. Други скуп података је *IMDB* скуп података [9], који се користи за класификацију сентимента. Трећи скуп података је *insurenceQA* [10] који се састоји од парова питања и одговора из области осигурања. Он је коришћен као база података за читав пројекат, односно из њега се тражи најсличније питање са питањем које је поставио корисник и даје се одговор на то питање.

Циљ првог експеримента је био да се одреди оптимална конфигурација *KNN* модела за проналажење најсличнијих питања. Тестирани су различите величине вектора речи, различите метрике удаљености: Еуклидска, косинусна и Менхетн метрика као и различите методе за векторизацију речи *TF-IDF* и *word2vec*.

На слици 1 су приказани резултати који се добијају када се користи *word2vec* метода за векторизацију речи. Најбољи резултати се добијају када се не врши препроцесирање текста, независно од коришћене метрике сличности. Овај приступ даје значајно боље резултате него *TF-IDF* метода, те је имплементиран у *high-recall* делу. На тест скупу, овај метод је тачно издвојио 54 од укупно 60 питања у скуп најсличнијих питања.



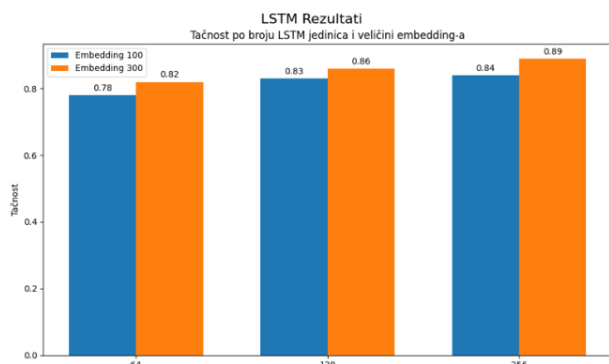
Слика 1. Број питања која су се нашла у скупу најсличнијих питања у односу на број карактеристика, *word2vec* приступ

Циљ другог експеримента је био да се оптимизује архитектура сијамске *LSTM* мреже за мерење сличности питања. Тестиране су различите вредности хипер-параметара за број *LSTM* јединица 64, 128, 256 и

величину *embedding* слоја 100, 300. Мрежа је тренирана на *Quora* скупу података који је подељен на тренинг, тест и валидациони у односу 70:15:15. Перформансе су мерене кроз тачност класификације сличних и различитих парова питања. Чува се модел који има најбољу тачност на валидационом скупу.

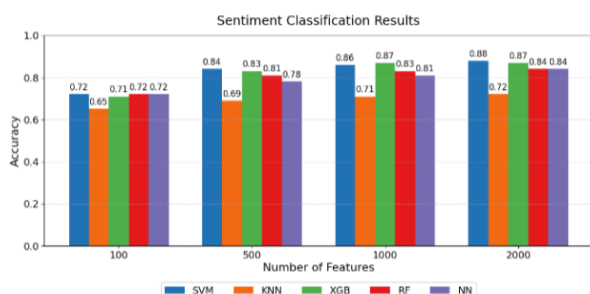
У експерименту је утврђено да повећање броја *LSTM* јединица доводи до побољшања перформанси (Слика 2). Највећи скок у перформансама се види при преласку са 64 на 128 јединица. Прелазак са 128 на 256 јединица доноси мање побољшање, што сугерише да се приближавамо тачки засићења.

Већи ембединг слој конзистентно доводи до бољих резултата, што се види на слици 2. Побољшање је приметно при повећању са 100 на 300. Ово сугерише да већи ембединг слој омогућава боље представљање семантичких карактеристика питања. Најбољи резултати су постигнути са 256 *LSTM* јединица и ембединг слојем величине 300.



Слика 2. Тачност за различите вредности хипер-параметара *LSTM* модела

У трећем експерименту упоређено је неколико модела машинског учења за класификацију сентимента користећи *IMDB* скуп података. Модел машинског учења су тренирани и евалуирани са различитим бројем обележја, односно, коришћен је *TF-IDF* вектор различите дужине: 100, 500, 1000 и 2000. Модел који су коришћени су: *SVM*, *KNN*, *XGBoost*, модел насумичне шуме (*Random Forest*) и неуронска мрежа. Са слике 3 се види да најбоље резултате даје *SVM* модел када је величина вектора речи 2000. Сличне резултате даје и *XGBoost* модел када је величина вектора 1000.



Слика 3. Одређивање сентимента применом метода машинског учења

У четвртном експерименту развијена је функција која комбинује *TF-IDF* методу са *NLTK* библиотеком за извлачење кључних речи. Процес укључује конверзију текста у мала слова, токенизацију, означавање врста

речи (са фокусом на именице), и *TF-IDF* анализу која додељује веће тежине речима које су честе у датом тексту али ретке у општем корпусу. Ефикасност ове методе није могла бити процењена јер *insuranceQA* база података не садржи лабелирани кључне речи.

5. ЗАКЉУЧАК

Рад је представио дигиталног асистента за конверзацију који пружа одговоре на питања из области осигурања. Мотивација за његов развој лежи у растућој потреби за аутоматизованом корисничком подршком у индустрији осигурања, која може значајно побољшати корисничко искуство и смањити оптерећење корисничких центара. Систем користи комбинацију техника обраде природног језика и машинског учења. Система је евалуиран низом експеримената који су тестирали његове различите аспекте.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Adamopoulou & Moussiades (2020). An Overview of Chatbot Technology. AIAI 2020, IFIP Advances, 584. Springer.
- [2] Jatnikaa et al. (2019). Word2VecModel Analysis for Semantic Similarities. ICCSCI 2019.
- [3] Lv et al. Siamese Multiplicative LSTM for Semantic Text Similarity.
- [4] Devika et al. Sentiment Analysis: A Comparative Study On Different Approaches. ICRTCSE.
- [5] Bonta et al. (2019). A Comprehensive Study on Lexicon-Based Approaches. Asian J Comp Sci Tech, 8(S2).
- [6] Xu & Zhang (2020). Extracting Keywords from Texts. ICIK.
- [7] <https://paperswithcode.com/sota/question-answering-on-quora-question-pairs>
- [8] <https://huggingface.co/datasets/quora-competitions/quora>
- [9] <https://www.kaggle.com/datasets/lakshmi25npathi/imdb-dataset-of-50k-movie-reviews>
- [10] <https://github.com/shuzi/insuranceQA>

Кратка биографија:



Стефан Драгичевић је рођен 1998. године у Новом Саду, Србија. Основне академске студије завршио је 2022. године на Факултету техничких наука. Исте године уписује мастер за вештачку интелигенцију који завршава 2 године касније одбраном мастер рада из области обраде природног језика. контакт: stefand998@gmail.com

CURRICULUMDSL – ЈСД ЗА ОПИС НАСТАВНИХ ПЛАНОВА И ПРОГРАМА**CURRICULUMDSL – DSL FOR SPECIFYING CURRICULUMS**Stefan Apostolović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIČKO I RAČUNARSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – Ovaj rad istražuje primenu jezika specifičnih za domen u oblasti obrazovanja, sa fokusom na jednostavnost korišćenja. Rad obuhvata analizu postojećih rešenja i pruža teorijsku osnovu za razumevanje problema. Uz pomoć jezika specifičnog za domen korisnicima je omogućeno da kreiraju nastavne planove i programe, a uz pomoć backend i frontend aplikacija da kreirane podatke vide na intuitivan način, uz mogućnost da njima upravljaju. Rezultati pokazuju potencijal ovakvih tehnologija da u velikoj meri pomognu prosvetnim radnicima u kreiranju edukativnih sadržaja na brz i efikasan način.

Ključne reči: jezik specifičan za domen, model, meta-model, textX, nastavni plan i program, kurs, modul, test

Abstract – This thesis explores the application of domain-specific languages in the field of education, focusing on ease of use. It includes an analysis of existing solutions and provides a theoretical basis for understanding the topic. Using the domain-specific language end-users can create curriculums, and with the help of the backend and frontend applications they can get an intuitive view of the data they created, with the ability to manage said data. The results demonstrate the potential of these technologies to significantly assist educators in creating curriculums in a quick and efficient way.

Keywords: domain-specific language, model, meta-model, textX, curriculum, course, module, test

1. UVOD

Jezici specifični za domen (JSD, eng. *Domain-Specific Languages – DSL*) predstavljaju tehniku koja omogućava definisanje formalizovanog jezika koji je prilagođen određenom domenu problema. Ovaj rad ima za cilj da istraži primenu JSD-a u kontekstu obrazovanja i predstavi razvoj jednog takvog jezika. Ciljevi rada su istraživanje postojećih softverskih rešenja koja postoje u ovoj oblasti, kao i implementacija JSD-a koji će pokušati da reši napomenute izazove. Pored jezika specifičnog za domen koji je implementiran korišćenjem jezika textX [1], u

sklopu softverskog rešenja su i *backend* server, čija je svrha da podatke dobijene pomoću pomenutog meta-jezika prepakuje u format koji je pogodan *frontend* aplikaciji. *Frontend* aplikacija služi da informacije o nastavnom planu i programu prikaže korisniku na jednostavan i razumljiv način, kao i da mu omogući da njima upravlja.

2. POSTOJEĆA REŠENJA

Najpoznatiji alati u oblasti obrazovanja su VLab [2], radni okvir za modelovanje virtuelnih učionica pomoću razvoja vođenog modelima, Moodle [3], jedan od najpopularnijih sistema za upravljanje učenjem, koji se koristi za kreiranje i upravljanje onlajn kursovima, kao i SCORM [4-5] (eng. *Sharable Content Object Reference Model*), standard za razvoj i integraciju obrazovnog sadržaja u sistemima za upravljanje učenjem.

3. KORIŠĆENI ALATI

Za razvoj aplikacije korišćen je textX [1,6] za kreiranje meta-modela, Uvicorn [7] za implementaciju *backend* servera, FastAPI [8] za implementaciju API-a (eng. *Application Programming Interface*), i React, za razvoj *frontend* aplikacije. U nastavku sledi nešto više o textX-u.

3.1. textX

textX je meta-jezik koji služi za kreiranje jezika specifičnih za domen. U suštini, on omogućava definisanje sintakse i semantike JSD-ova na jednostavan način, koristeći gramatike slične konektno-slobodnim. Zasnovan je na Python-u i koristi Arpeggio biblioteku za parsiranje, što omogućava lako generisanje JSD-ova sa minimalnim naporima. Podržava automatsko definisanje gramatike i meta-modela. Meta-model koji se generiše je zapravo graf Python klase sa vezama između njih. Pored toga, implementirana je automatska konstrukcija modela, i podrška za razrešavanje referenci koje se u njemu nalaze. Sam model je instanca meta-modela, odnosno graf Python objekata,

4. OPIS REŠENJA

Glavne komponente sistema su: jezik specifičan za domen za definisanje nastavnog plana i programa, server čija je svrha da Python objekte koji su deo textX modela prepakuje u format pogodan *frontend* aplikaciji, API čija je svrha da odgovara zahtevima te aplikacije, i sama *frontend* aplikacija, koja služi da kreiran nastavni plan i program prikaže krajnjim korisnicima na pregledan način.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Dejanović, red. prof.

4.1. JEZIK SPECIFIČAN ZA DOMEN

Jedan od glavnih ciljeva pri razvijanju ovog jezika jeste jednostavnost korišćenja. Sledi prikaz i objašnjenje jednog pravila koje se nalazi u gramatici jezika. Pravilo **Kurs** (eng. *Course*) služi za opisivanje kursa koji pripada nastavnom planu i programu. Sastoji se iz sledećih atributa: **Ime** (eng. *Name*), **Opis** (eng. *Description*), **Moduli** (eng. *Modules*), **Test**, **Savet** (eng. *Advice*), **Preduslovi** (eng. *Prerequisites*) – spisak kurseva ili modula koje korisnik mora da pređe pre nego što stekne pravo da pristupi kursu. Pravilo je prikazano na listingu 1.

```
Course:
  'C:'
  'Name:' name=STRING
  'Description:' description=STRING
  'Modules:' modules+=Module
  'Test:' test=Test
  ('Advice:' advice=STRING)?
  ('Prerequisites:' prerequisites*=Prerequisite)?
;
```

Listing 1 – Course pravilo

4.2. BACKEND SERVER

Backend server implementiran je pomoću Uvicorn veb servera. Uvicorn je brz, lagan i efikasan ASGI server (eng. *Asynchronous Server Gateway Interface*) za Python, dizajniran da pokreće asinhronu veb aplikaciju i servere. Na listingu 2 prikazan je kod koji je odgovoran za pokretanje servera.

```
def main():
    logging.info("Application started...")
    uvicorn.run("main:app", log_level="info", reload=True)
```

Listing 2 – Kod za pokretanje servera

Komanda za pokretanje servera može imati više parametara, u ovom slučaju prvi parametar je lokacija aplikacije koju želimo da pokrenemo, drugi postavlja nivo beleženja logova na *info*, a treći govori aplikaciji da ponovo učita server svaki put kada primeti neku promenu u kodu.

4.3. API

API koji služi za upravljanje resursima u aplikaciji implementiran je pomoću FastAPI radnog okruženja. FastAPI je moderan, brz i visoko performantan radni okvir zasnovan na Python-u. Dizajniran je da omogući razvoj aplikacija sa visokim performansama koje su gotovo uporedive sa najbržim okvirima, kao što je Go. Na listingu 3 prikazan je kod odgovoran za definisanje i podešavanje API-ja.

```
origins = [
    "http://localhost:3000"
]

middleware = [
    Middleware(cors.CORSMiddleware, allow_origins=origins,
               allow_methods=["*"], allow_headers=["*"],)
]

app = FastAPI(middleware=middleware)
app.include_router(api.router)
```

Listing 3 – Kod za podešavanje API-ja

Na listingu 4 prikazan je jedan *endpoint*, koji je odgovoran za dobavljanje statistika o korisniku.

```
@router.get("/testResult/userStatistics/{course_name}", response_model=None)
def getUserStatisticsForCourse(course_name: str):
    course = curric.get_course_by_name(course_name)
    if course is None:
        raise HTTPException(status_code=404, detail=f"Course with the name {course_name} not found.")

    response = course.get_user_statistics()

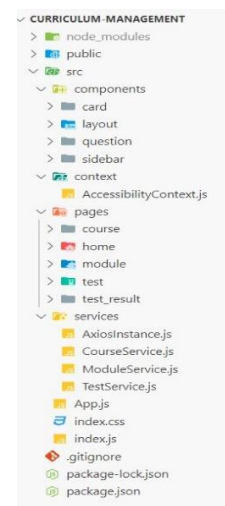
    try:
        json_response = jsonable_encoder(response)
    except Exception as e:
        logging.exception("Exception: {}".format(type(e).__name__))
        logging.exception("Exception message: {}".format(type(e)))
        return

    return JSONResponse(content=json_response)
```

Listing 4 – FastAPI endpoint

4.4. FRONTEND

Frontend aplikacija napisana je uz pomoć React JavaScript biblioteke. Sastoji se od pet stranica, a svaka stranica je sačinjena od više komponenti. Struktura projekta prikazana je na slici 1, a izgled samih stranica biće pokazan u nastavku poglavlja.



Slika 1 – Struktura *frontend* projekta

4.5. SPECIFIKACIJA PLANA I PROGRAMA PUTEM JEZIKA SPECIFIČNOG ZA DOMEN

Na listingu 5 prikazana je specifikacija nastavnog plana i programa, tačnije samo jedan njen deo, radi čitljivosti.

Videos:

Url: "https://www.youtube.com/watch?v=6WUjbJEJwM"

Description: "Lorem ipsum"

Url: "https://www.youtube.com/watch?v=rCW0dfQ3cwQ"

Description: "Lorem ipsum"

Test:

Name: "Kurs1 Modul1 Test"

Questions:

Q:

text: "Modul tekst1"

type: open_ended

Answer: - "modul odgovor 1"

points: 4

PassCriteria: percentage_required: 85

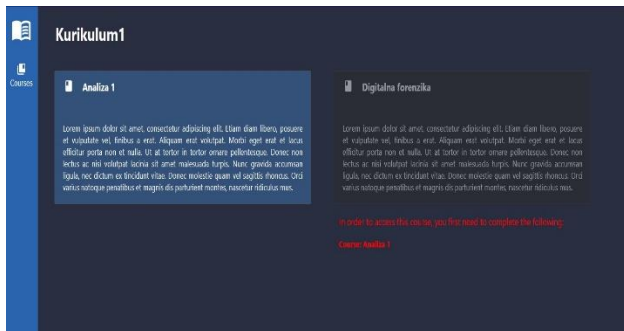
Advice: "Advice module 1"

Listing 5 – Specifikacija dela plana i programa

Kao što se može videti sa listinga, definisan je test čije je ime “Kurs1 Modul1 Test“, ima jedno pitanje koje nosi četiri boda, i kao kriterijum za prolaz zahteva da je osvojen procenat tačnih odgovora veći od 85. Pored toga, definisana su i dva video snimka. Svaki snimak ima link, kao i kratak opis.

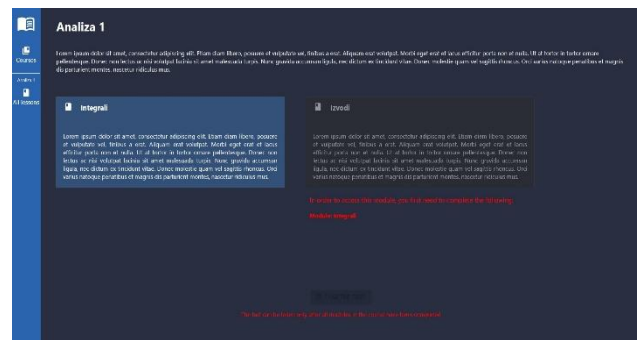
4.6. KORISNIČKI INTERFEJS I FUNKCIONALNOSTI APLIKACIJE

Kada korisnik pokrene aplikaciju, prvo što vidi jeste početnu stranicu, na kojoj su izlistani svi dostupni kursevi. Izgled stranice prikazan je na slici 2.



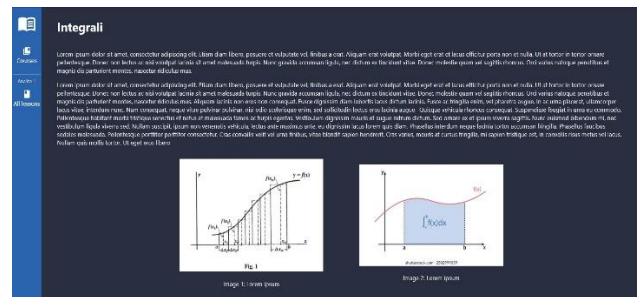
Slika 2 – Početna stranica

Kursu “Digitalna forenzika“ se ne može pristupiti, jer zahteva da korisnik prvo završi kurs “Analiza 1“, što je naznačeno crvenim slovima ispod kartice za kurs. Klikom na karticu za prvi kurs, prelazimo na stranicu Course, na kojoj su izlistani svi moduli koji mu pripadaju. Slika 3 prikazuje stranicu.

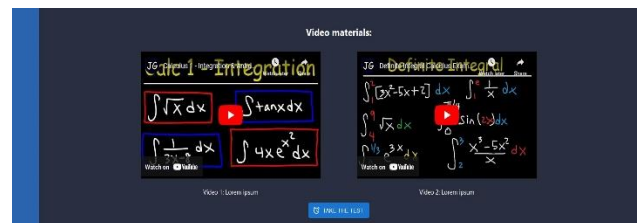


Slika 3 – Stranica Course

Slično kao i na prethodnoj stranici, pristup drugom modulu je zabranjen dok korisnik ne završi modul koji je naznačen podebljanim crvenim slovima. Ono što je novo jeste postojanje dugmeta čijim pritiskom se započinje test. Pošto korisnik nije prešao sve module, ne može da pristupi testu. Klikom na prvi modul prelazimo na stranicu Module (slike 4 i 5).

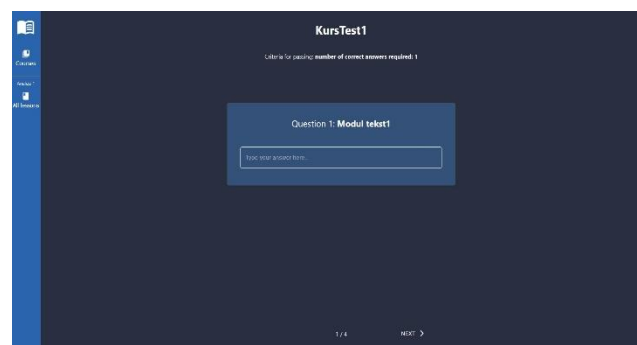


Slika 4 – Stranica Module prvi deo



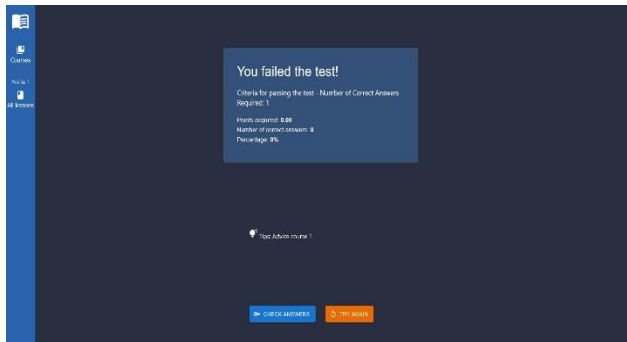
Slika 5 – Stranica Module drugi deo

Na Module stranici pored tekstualnog sadržaja prikazane su i slike [9-10], kao i video materijali [11-12]. Pored toga, svaki modul ima i test, koji se može započeti klikom na dugme “Take the test“. Prelaskom na stranicu Test, korisniku je prikazan određeni broj pitanja iz “bazena“ pitanja koje test poseduje. Na slici 6 može se videti izgled stranice, i pitanje slobodnog tipa.



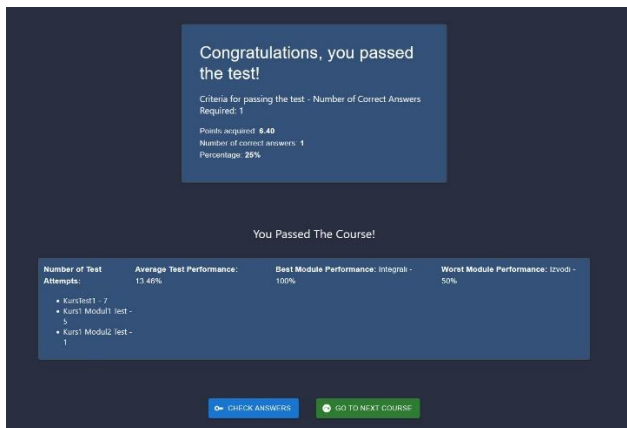
Slika 6 – Test stranica i pitanje slobodnog tipa

Pored pitanja slobodnog tipa, test može imati i pitanja tipa tačno-netačno, pitanja čiji je odgovor broj, pitanja koja mogu imati više tačnih odgovora, i pitanje sa samo jednim tačnim odgovorom. Nakon završetka testa, korisniku se prikazuje TestResult stranica. U slučaju da nije uspeo da položi test (slika 7), na stranici će se nalaziti saveti za napredak, opcija da vidi odgovore na pitanja, kao i mogućnost da pokuša ponovo. Ako se odluči da pokuša ponovo, pitanja će se nasumično izvući iz bazena, a njihov redosled, kao i redosled odgovora izmešati.



Slika 7 – TestResult stranica

Nakon što korisnik pređe prvi modul, moći će da pristupi sledećem. Kada se svi moduli na kursu završe, stiže se pravo na polaganje samog kursa. Kada korisnik uspešno položi kurs, prikazuju mu se osnovni statistički podaci, poput ukupnog broja pokušaja za svaki test, srednja uspešnost na testovima, koji modul je korisniku najbolje išao, a koji najlošije. Ovo je prikazano na slici 8.



Slika 8 – Prikaz statističkih podataka nakon uspešno položenog kursa

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je fokusiran na razvoj i primenu jezika specifičnog za domen radi opisa nastavnih planova i programa. Generalizovani pristupi često ne zadovoljavaju konkretne potrebe obrazovnog sektora, što dovodi do komplikovanijeg i manje efikasnog procesa upravljanja nastavnim sadržajem. Jezik predstavljen u ovom radu omogućava jasnije i preciznije definisanje nastavnih planova, poboljšava njihovu preglednost i pojednostavljuje modifikacije. Primenom ovog JSD-a u obrazovanju, nastavnici i administratori dobijaju alat koji olakšava kreiranje i prilagođavanje kurikuluma, što dugoročno može uticati na unapređenje kvaliteta nastave.

6. LITERATURA

- [1] И. Дејановић, Р. Вадерна, Г. Милосављевић, Ж. Вуковић, „TextX: A Python tool for Domain-Specific Languages implementation”, Knowledge-Based Systems, vol. 115, Na mreži, 01-01-2017, pristup: 02-10-2024.
- [2] David Ganan, Ana-Elena Guerrero-Roldan, Josep Prieto-Blazquez, Jordi Conesa, “VLab: A domain-specific language for Virtual Classrooms”, Na mreži, 27-10-2014, pristup: 16-08-2024.
- [3] Ajlan Al-Ajlan, Hussein Zedan, “Why Moodle”, Na mreži, 21-11-2008, pristup: 16-08-2024
- [4] SCORM, <https://scorm.com/>, Na mreži, pristup: 16-08-2024
- [5] O. Bohl, J. Scheuhase, R. Sengler, U. Winand, “The sharable content object reference model (SCORM) - a critical review”, Na mreži, 20-03-2003, pristup: 16-08-2024
- [6] И. Дејановић, Jezici specifični za domen, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2021.
- [7] Uvicorn, <https://www.uvicorn.org/>, Na mreži, pristup: 16-09-2024
- [8] FastAPI, <https://fastapi.tiangolo.com/>, Na mreži, pristup: 16-09-2024
- [9] “PRIMITIVE, DEFINITE INTEGRAL, FUNDAMENTAL THEOREM OF INTEGRAL CALCULUS, PROPERTIES OF DEFINITE INTEGRALS”, <https://solitaryroad.com/c364.html>, Na mreži, pristup: 20-09-2024
- [10] “Origins of Integration”, <https://www.semanticscholar.org/paper/Origins-of-Integration-Hammarstr%C3%B6m/ea302ec2107d8668b2d12e8b9fc965217f33322>, Na mreži, pristup: 20-09-2024
- [11] “Calculus 1 - Integration & Antiderivatives”, <https://www.youtube.com/watch?v=6WUjbJEJwM>, Na mreži, pristup: 20-09-2024
- [12] “Definite Integral Calculus Examples, Integration - Basic Introduction, Practice Problems”, <https://www.youtube.com/watch?v=rCWOfQ3cwQ>, Na mreži, pristup: 20-09-2024

Kratka biografija:



Stefan Apostolović rođen je u Nišu 2000. godine. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na smeru Računarstvo i automatika 2023. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu iz oblasti Elektrotehničko i računarsko inženjerstvo – CurriculumDSL – jezik specifičan za domen za opis nastavnih planova i programa, odbranio je 2024.godine.

RAZVOJ VEB-APLIKACIJE ZA DRUŠTVENU INTERAKCIJU S INTEGRACIJOM EKSTERNOG SISTEMA ZA PLAĆANJE**DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR SOCIAL INTERACTION WITH INTEGRATION OF AN EXTERNAL PAYMENT SYSTEM**

Nataša Ščekić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj –Ovaj rad istražuje razvoj veb-aplikacije koja poboljšava korisničko iskustvo kroz vizualizaciju podataka, društvenu interakciju i integraciju e-plaćanja. Fokus je na funkcionalnostima koje omogućavaju laku navigaciju i korišćenje različitih sekcija aplikacije, uključujući i obradu plaćanja.

Ključne reči: Veb-aplikacija, korisničko iskustvo, vizualizacija, društvena interakcija, e-plaćanje

Abstract – This paper explores the development of a web application that enhances user experience through data visualization, social interaction, and e-payment integration. The focus is on functionalities that allow easy navigation and use of different sections of the application, including payment processing.

Keywords: Web application, user experience, visualization, social interaction, e-payment

1. UVOD

Aplikacija razvijena u okviru ovog rada predstavlja inovativnu platformu koja omogućava korisnicima da se povežu, komuniciraju i izraze kroz virtualne prostore. Ova platforma omogućava jednostavnu registraciju i prijavu, čime se svaki korisnik može brzo uključiti u zajednicu. Nakon kreiranja profila, korisnici imaju mogućnost da ažuriraju svoje informacije i vizualni identitet, obogaćujući svoje iskustvo unutar aplikacije, uz dodatne opcije za personalizaciju koje doprinose jedinstvenom doživljaju svakog korisnika.

Pored toga, platforma nudi funkcionalnosti za pretragu i interakciju među korisnicima, što podstiče dublju socijalnu povezanost. Korisnici mogu ostavljati komentare na profilima drugih članova, čime se stvara aktivna i dinamična komunikacija unutar zajednice. Kako bi unapredili svoje iskustvo, korisnici imaju pristup virtualnoj prodavnici gde mogu kupovati pakete novčića i razne avatare, dodatno personalizujući svoje prisustvo u aplikaciji. Kroz sveobuhvatne funkcionalnosti, aplikacija pruža korisnicima mogućnost da istražuju, komuniciraju i učestvuju u zajednici, čime se stvara jedinstveno okruženje za interakciju i kreativno izražavanje.

NAPOMENA:

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

2. PREGLED KORIŠĆENIH SOFTVERSKIH TEHNOLOGIJA

Aplikacija je razvijena koristeći savremene alate i platforme kako bi se obezbedilo visokokvalitetno korisničko iskustvo i efikasno upravljanje podacima. Tehnologije korišćene za frontend razvoj uključuju React.js [1] i Vercel [2], dok su za backend deo aplikacije korišćeni Node.js [3], Express.js [4], MongoDB [5], i Render [6]. Svaka od ovih tehnologija doprinosi različitim aspektima funkcionisanja aplikacije, od izrade korisničkog interfejsa do upravljanja podacima i hostovanja.

2.1. Frontend tehnologije

Za izradu korisničkog interfejsa aplikacije korišćen je React.js, popularna otvorena frontend JavaScript biblioteka koja se koristi za izgradnju korisničkih interfejsa zasnovanih na komponentama. React.js je posebno pogodan za razvoj single-page aplikacija, kao i aplikacija koje se renderuju na serveru pomoću nekog framework-a. React.js se temelji na deklarativnoj programskoj paradigmi, gde programeri definišu prikaze za svako stanje aplikacije, a React ažurira i renderuje komponente kada dođe do promena u podacima. Korišćenje React.js omogućava efikasno kreiranje dinamičkih i interaktivnih veb-stranica uz ponovnu upotrebu koda i brzo ažuriranje korisničkog interfejsa bez potrebe za ponovnim učitavanjem stranica. Ovaj pristup značajno poboljšava performanse aplikacije i pruža korisnicima glatko i responsivno iskustvo.

Node.js library je skup biblioteka i modula koji se koriste za rad sa Node.js platformom. Iako nije direktno korišćena u frontend delu aplikacije, ova biblioteka omogućava efikasno upravljanje asinhronim operacijama, rad sa datotekama i mrežnim resursima. Node.js library je koristan za integraciju sa alatima i bibliotekama koje mogu poboljšati frontend razvoj, kao što su alati za build i testiranje aplikacija.

Vercel je platforma za hostovanje i implementaciju frontend aplikacija koja omogućava brzo i efikasno postavljanje veb-stranica. Korišćena je za hostovanje frontend dela aplikacije koji je razvijen u React.js tehnologiji. Vercel omogućava automatske i kontinuirane izgradnje i implementacije sa GitHub-a i GitLab-a, čime se olakšava proces implementacije i upravljanja verzijama. Platforma takođe pruža optimizaciju performansi i brzinu učitavanja stranica, što doprinosi kvalitetu korisničkog iskustva.

2.2. Backend tehnologije

Node.js je korišćena server-side JavaScript platforma koja omogućava razvoj visokoperformantnih aplikacija. Temeljena je na V8 JavaScript engine-u, koristi event-driven, non-blocking I/O (Input/Output) model koji omogućava upravljanje velikim brojem istovremenih konekcija uz minimalne resurse. Ovaj model omogućava brzu obradu zahteva i efikasno upravljanje resursima, što je posebno korisno za razvoj real-time aplikacija. Node.js je korišćen za izgradnju server-side logike aplikacije, omogućavajući efikasnu obradu korisničkih zahteva i interakciju sa bazom podataka.

Express.js je fleksibilan web framework za Node.js koji olakšava razvoj server-side aplikacija i API-ja. Pruža bogat set funkcionalnosti za upravljanje HTTP zahtevima, definisanje ruta i middleware. Express.js omogućava jednostavno postavljanje servera, upravljanje sesijama, autentifikaciju korisnika i rad sa različitim vrstama zahteva. Korišćen je u aplikaciji za izgradnju server-side logike, upravljanje podacima i pružanje API-ja koji omogućava komunikaciju između frontend i backend dela aplikacije.

MongoDB je dokument-orijentisana NoSQL (Not Only Structured Query Language) baza podataka koja koristi JSON dokumente (ili slične njima) za skladištenje podataka. Kao NoSQL rešenje, MongoDB omogućava fleksibilno modelovanje podataka i lako skaliranje u skladu sa potrebama aplikacije. Ovaj pristup omogućava rad sa kompleksnim strukturama podataka i brzo pretraživanje. MongoDB je korišćen za čuvanje i upravljanje podacima aplikacije, pružajući efikasnu platformu za rad sa velikim količinama podataka.

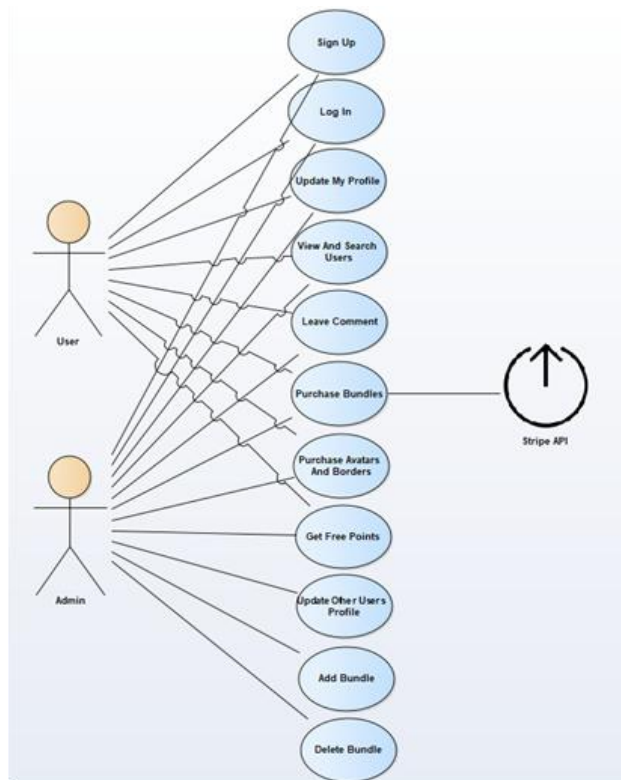
Render je sveobuhvatna cloud platforma koja omogućava hostovanje server-side aplikacija, baza podataka i drugih resursa na jednom mestu. Korišćen je za hostovanje backend dela aplikacije razvijenog u Node.js i Express.js. Render pruža jednostavno upravljanje resursima, automatske deploy-eve i skalabilnost za server-side aplikacije. Platforma omogućava jednostavnu konfiguraciju i upravljanje aplikacijama, čime se osigurava stabilan i efikasan rad aplikacije.

3. SPECIFIKACIJA ZAHTEVA

3.1. Funkcionalni zahtevi

Funkcionalni zahtevi sistema (Slika 1) obuhvataju osnovne i napredne funkcionalnosti koje omogućavaju korisnicima i administratorima efikasno korišćenje aplikacije. Predstavljaju se dijagramom slučajeva korišćenja [7]. U osnovne funkcionalnosti spadaju registracija korisnika, prijava, ažuriranje profila, pregled i pretraga korisničkih profila, ostavljanje komentara, kao i pregled i kupovina virtualnih dobara, kao što su novčići, avatari i bordure. Korisnici takođe mogu dobiti besplatne novčiće kroz razne aktivnosti, kao što su dnevni logini.

Na administrativnom nivou, administrator ima dodatna ovlašćenja za upravljanje korisnicima i paketima novčića, što uključuje nadgledanje aktivnosti korisnika i kreiranje promocija. Ove napredne funkcionalnosti pomažu u održavanju ravnoteže u sistemu i omogućavaju prilagođavanje potrebama korisnika, čime se poboljšava ukupno iskustvo na platformi.



Slika 1. Dijagram slučajeva korišćenja

3.2. Nefunkcionalni zahtevi

U ovoj veb-aplikaciji zadovoljavaju se značajni nefunkcionalni zahtevi, čime se osigurava kvalitetno korisničko iskustvo i efikasnost sistema.

Performanse sistema optimizovane su za brzu obradu zahteva korisnika. Testiranja pokazuju da aplikacija obrađuje zahteve za učitavanje profila i komentare u vrlo kratkom roku, čak i pod povećanim opterećenjem.

Korisničko iskustvo postavljeno je kao prioritet. Intuitivan dizajn interfejsa omogućava lako kretanje kroz funkcije aplikacije. Uputstva i obaveštenja dostupna su korisnicima tokom svih aktivnosti, čime se smanjuje potreba za tehničkom podrškom.

Korisnički interfejs estetski je privlačan i prilagođen različitim uređajima. Aplikacija poseduje responzivan dizajn, što znači da se prilagođava veličini ekrana, obezbeđujući optimalno korisničko iskustvo na računarima, tabletima i mobilnim uređajima.

Prenosivost sistema obezbeđena je, što znači da aplikacija funkcioniše na različitim operativnim sistemima i veb pregledačima, omogućavajući korisnicima da bez problema pristupaju aplikaciji bez obzira na platformu.

Bezbednost sistema je na visokom nivou. Integracija Stripe API-ja omogućava bezbedne virtualne finansijske transakcije, dok sistem koristi kriptovanje podataka i mehanizme za zaštitu korisničkih naloga.

Sistem je projektovan da bude otporan na greške, uz mehanizme za otkrivanje i izveštavanje o greškama. Ova funkcionalnost osigurava da sistem može nastaviti sa radom u slučaju neočekivanih problema, što je ključno za održavanje poverenja korisnika.

Sve ove karakteristike i funkcionalnosti doprinose stvaranju kvalitetne i bezbedne veb-aplikacije spremne da zadovolji potrebe korisnika i u budućnosti.

4. SPECIFIKACIJA DIZAJNA

U ovom poglavlju opisane su šeme podataka i klasni dijagram [8], što ima za cilj da pruži detaljan uvid u arhitektonske aspekte aplikacije, naglašavajući ključne elemente koji čine osnovu funkcionalnosti i efikasnosti razvijenog rešenja.

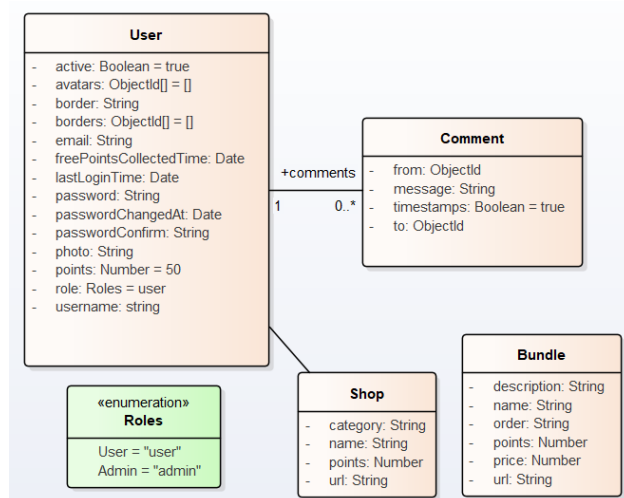
4.1. Šeme podataka

Aplikacija koristi MongoDB bazu podataka za upravljanje podacima, a definisane su četiri glavne šeme koje predstavljaju osnovne entitete – User (korisnik), Shop (prodavnica), Comment (komentar) i Bundle (paket). Šeme podataka predstavljaju logičku strukturu informacija koje se koriste u aplikaciji. Ove šeme omogućavaju strukturirano upravljanje korisničkim nalogima, interakcijama i kupovinom virtualnih dobara unutar aplikacije.

4.2. Klasni dijagram

Klasni dijagram predstavlja strukturu sistema u smislu objekata i njihovih interakcija. U okviru ovog sistema ilustruje klasu, atribut i metode, kao i odnose između klasa, pružajući detaljan uvid u logičku organizaciju aplikacije (Slika 2).

Glavne komponente klasnog dijagrama uključuju klase User (Korisnik), Shop (Prodavnica), Comment (Komentar) i Bundle (Paket novčića), zajedno sa njihovim atributima i vezama. Svaka klasa u dijagramu definiše određeni entitet u sistemu.



Slika 2. Klasni dijagram sistema

5. DEMONSTRACIJA SISTEMA

U ovom poglavlju je predstavljena demonstracija svih osnovnih funkcionalnosti aplikacije kroz ključne segmente koji su predstavljeni na stranici za prijavu korisnika, registraciju korisnika, početnoj stranici, stranici regularnog korisnika i stranici ulogovanog korisnika.

Svaka stranica aplikacije je u potpunosti responzivna, što omogućava prilagođavanje izgleda i funkcionalnosti različitim uređajima – od desktopa do mobilnih telefona. Bez obzira na veličinu ekrana, korisnici mogu lako i intuitivno pristupiti aplikaciji, uz očuvanu vidljivost i funkcionalnost elemenata, čime se obezbeđuje šira pristupačnost.

Logo aplikacije (Slika 3), koji je istaknut u dizajnu, doprinosi prepoznatljivosti brenda. Ova funkcionalnost doprinosi estetskoj privlačnosti stranice i čini korisnički interfejs vizuelno interesantnijim.



Slika 3. Logo aplikacije

5.1. Prijava na aplikaciju

Prijava na aplikaciju predstavlja prvi korak u korišćenju aplikacije i omogućava korisnicima siguran i jednostavan način pristupa njihovim personalizovanim podacima. Ovaj proces obuhvata unos korisničkih podataka koji se proveravaju radi autentifikacije i daljeg pristupa funkcionalnostima aplikacije.

Obuhvaćena je validacija unosa na stranici za prijavu – omogućena je trenutna povratna informacija o greškama u unosu, kao što su nepravilno unesena adresa e-pošte ili lozinka. Nakon prijavljivanja korisnika, prikazuje se poruka o uspešnosti prijave.

Na stranici za prijavu se nalazi link koji omogućava prelazak na stranicu za registraciju, pružajući korisnicima jednostavan način za kreiranje novog naloga ukoliko još uvek nemaju jedan.

5.2. Registracija korisnika

Stranica za registraciju sadrži formu sa nekoliko obaveznih polja, uključujući ime, prezime, adresu e-pošte, lozinku i potvrdu lozinke.

Validacija unosa podataka predstavlja ključni aspekt procesa registracije. Odmah se proveravaju uneti podaci i korisnicima se pruža povratna informacija o eventualnim greškama, kao što su neispravan format adrese e-pošte ili lozinka koja ne ispunjava sigurnosne kriterijume. Na ovaj način, korisnici mogu odmah da isprave svoje unose bez potrebe za slanjem podataka na server. Osigurano je da se samo ispravni i sigurni podaci unose u sistem, čime se smanjuje rizik od neovlašćenog pristupa ili pokušaja zlonamernih aktivnosti.

5.3. Početna stranica

Pregled početne stranice sadrži sve ključne funkcionalnosti i vizualne elemente koji čine osnovu korisničkog iskustva u aplikaciji.

Korisnicima je omogućen prikaz svih postojećih korisnika u aplikaciji. Ova funkcionalnost obrađuje zahtev za pristup bazi podataka i povlači sve korisničke naloge, prikazujući ih u vidu liste ili tabele u korisničkom interfejsu. Ovim postupkom omogućava se lako i brzo pregledavanje svih registrovanih korisnika, čime se poboljšava efikasnost upravljanja korisničkim podacima u aplikaciji.

U zaglavlju aplikacije nalaze se logo aplikacije koji vodi na početnu stranu i korisničko ime trenutno prijavljenog korisnika. Avatar korisnika otvara padajući meni sa opcijama kao što su profil, puni ekran, promena teme i odjava. Prikazuje se i broj novčića koje korisnik poseduje, a klikom na njih se otvara prodavnica podeljena u tri sekcije: Coin Shop, Border Shop i Avatar Shop.

U Coin Shop sekciji, korisnik može kupiti dodatne novčiće putem Stripe-a. Stripe trenutno funkcionira u testnom okruženju, što omogućava korisnicima da koriste test karticu za sve kupovine. Ova funkcionalnost omogućava korisnicima da upravljaju svojim profilima i unaprede ih pomoću virtualne valute.

U Avatar i Border Shop sekciji, prikazuju se avatari i bordure koje korisnik može kupiti i koristiti za sliku profila. Ukoliko korisnik pokuša da kupi avatar ili borduru koju već poseduje, sistem će ga o tome obavestiti kroz jasno prikazano upozorenje.

Korisnicima je omogućeno da dobiju besplatne novčiće na svaka 3 sata, u nasumičnom iznosu između 150 i 350.

Polje za pretragu omogućava korisnicima da pretražuju druge korisnike na osnovu korisničkog imena. Integrirano je sa sistemom validacije koji osigurava da su uneti podaci pravilno obrađeni. Istorija pretrage se automatski ažurira sa svakim uspešnim pretraživanjem i omogućava korisnicima da lako pristupe prethodnim pretragama, kao i da uklone stavke iz istorije pretrage.

5.4. Profil korisnika

Stranica profila korisnika pruža sveobuhvatan pregled ključnih informacija o određenom korisniku. Na stranici su prikazani komentari koje su ostavili drugi korisnici, omogućavajući uvid u interakcije korisnika sa zajednicom. Svaki komentar prikazuje informacije o korisniku koji ga je ostavio, uključujući vreme objavljivanja.

Administratori aplikacije imaju proširene funkcionalnosti na stranici profila korisnika. Pored mogućnosti izmene korisničkog imena i adrese e-pošte, administratori mogu menjati broj novčića koje korisnici poseduju, resetovati tajmer za besplatne novčiće za bilo kog korisnika u sistemu, kao i deaktivirati korisnički nalog.

5.5. Profil ulogovanog korisnika

Stranica profila ulogovanog korisnika služi kao centralno mesto za upravljanje ličnim podacima i vizuelnu personalizaciju unutar aplikacije, omogućavajući korisnicima potpunu kontrolu nad svojim profilom. Slična je stranici profila bilo kog korisnika, ali sadrži dodatne funkcionalnosti za upravljanje sopstvenim podacima.

Svaki korisnik može izmeniti svoje korisničko ime i adresu e-pošte. Pored toga, ulogovani korisnik može pristupiti kolekciji svojih kupljenih avatara i bordura i prilagoditi izgled svog profila primenom istih.

Administratori aplikacije imaju mogućnost upravljanja paketima novčića u okviru sistema kroz dve ključne funkcionalnosti – dodavanje i brisanje paketa novčića. Na ovaj način mogu aktivno upravljati paketima novčića u sistemu, prilagođavajući i optimizujući prodajnu ponudu u skladu sa potrebama korisnika.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljeno softversko rešenje kojim se razvija veb-aplikacija za društvenu interakciju korisnika. U funkcionalnosti sistema spadaju kreiranje i ažuriranje profila, pregled i pretragu drugih korisnika, postavljanje komentara, kupovinu paketa novčića i drugih virtualnih dobara (avatara i bordura), kao i dobijanje besplatnih novčića u određenim vremenskim intervalima.

Implementacija je realizovana uz korišćenje Stripe API-ja, što omogućava sigurne virtualne finansijske transakcije. Trenutno sistem funkcionira u testnom režimu, bez uključivanja pravog novca, što pruža bezbedno okruženje za korisnike tokom kupovine digitalnih sadržaja. U razvoju aplikacije korišćene su moderne tehnologije i okviri, kako bi se obezbedila efikasnost, skalabilnost i bezbednost sistema.

Prednosti rešenja uključuju intuitivno korisničko iskustvo, sigurne finansijske transakcije, modularan dizajn i fleksibilnost u upravljanju korisnicima. Posebna pažnja je posvećena korisničkom interfejsu, što olakšava navigaciju i korišćenje aplikacije, čime se povećava zadovoljstvo korisnika. Integracija Stripe API-ja garantuje bezbednost prilikom virtualnih kupovina, što je ključno za stvaranje poverenja kod korisnika. Ova struktura omogućava laku nadogradnju i implementaciju novih funkcionalnosti u skladu sa potrebama korisnika i tržišta.

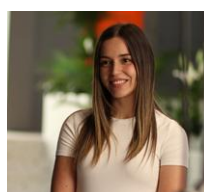
Međutim, rešenje ima i neke nedostatke, poput pravih finansijskih transakcija, ograničenih društvenih interakcija i potrebe za naprednijim sistemima obaveštavanja. Trenutno funkcionisanje u testnom režimu ograničava pravu primenu aplikacije, što može uticati na korisničko iskustvo i angažovanje.

U budućnosti se mogu otkloniti mane rešenja kroz razvoj pravog okruženja za finansijske transakcije, unapređenje funkcionalnosti foruma dodavanjem novih društvenih mehanizama kao što su rangiranje korisnika, sistemi za ocenjivanje sadržaja i napredne notifikacije, kao i integraciju više sistema plaćanja. Ove promene će doprineti boljem korisničkom iskustvu i monetizaciji aplikacije, čime će se stvoriti solidna osnova za dalji rast i unapređenja.

7. LITERATURA

- [1] S. M. Smith, React.js Development: Mastering Modern Frontend, 1st edition, 2022
- [2] J. L. Harris, Building Modern Web Applications with Vercel and React, 1st edition, 2023
- [3] T. A. Brown, Mastering Node.js: Expert Techniques for Building Scalable Network Applications, 2nd edition, 2022
- [4] J. W. Kelly, Express.js Guide: The Comprehensive Book on Express.js Framework, 1st edition, 2021
- [5] MongoDB, MongoDB Documentation, <https://www.mongodb.com/docs/>
- [6] R. P. Turner, Deploying Applications with Render and MongoDB Atlas, 2023
- [7] Lucidchart, UML Use Case Diagram Tutorial, <https://www.lucidchart.com/pages/uml-use-case-diagram/>
- [8] Lucidchart, Class Diagram Tutorial, <https://www.lucidchart.com/pages/uml-class-diagram/>

Kratka biografija:



Nataša Ščekić rođena je u Novom Sadu 1999. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektronsko poslovanje odbranila je 2024.godine.
kontakt: scekicnataša@gmail.com

JEZIK SPECIFIČAN ZA DOMEN INTERAKTIVNIH PRIČA**A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR INTERACTIVE STORIES**Sara Sinjeri, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – Tema ovog rada jeste istraživanje oblasti interaktivne fikcije kroz istoriju i dizajn i implementacija jezika specifičnog za domen interaktivnih priča.

Ključne reči: interaktivna fikcija, jezik specifičan za domen, textX, generisanje slike, tKinter, python

Abstract – *This paper deals with research of interactive fiction through history and the design and implementation of domain-specific language for interactive stories.*

Keywords: Interactive fiction, domain specific language, textX, image generation, tKinter, python

1. UVOD

Interaktivna fikcija, poznata kao i tekstualne avanture su žanr video igara u kojima igrač koristi tekstualne komande kako bi upravljao glavnim likom. Sama ideja interaktivne fikcije je da igrač unošenjem komandi određuje tok i razvoj radnje određene priče. Neke od interaktivnih fikcija sadrže grafiku, dok su neke potpuno tekstualnog formata. Glavni koncept skoro svake interaktivne fikcije jeste kretanje u prostoru u kom se glavni lik nalazi. Većina je smeštena u tzv. svetu koji se sastoji od soba koje su povezane. Igrač se unosom komandi može kretati između soba i istraživati prostor oko sebe. Pored soba, skoro neizostavan koncept koji je prisutan jesu objekti. Objekti se nalaze u prostoru, odnosno sobama i oni mogu biti statički i dinamički, što određuje da li igrač može interagovati sa tim objektima ili ne. Pored istraživanja prostora oko sebe i interakcije sa objektima, interaktivna fikcija može da sadrži interakciju sa drugim likovima u priči. Interaktivna fikcija spada među najstarije tipove igrica. Pored već prethodno navedenog načina igre gde igrač unosi tekstualne komande, postoji i drugi način igre, gde se u određenom momentu radnje igraču nude već predefinisane opcije gde izbor svake od njih utiče na dalje razvoj priče. Ovakav vid igre u okviru interaktivne fikcije poznat je i pod terminom interaktivne priče [1, 9].

2. INTERAKTIVNA FIKCIJA KROZ ISTORIJU

Interaktivna fikcija poseduje dugu i bogatu istoriju.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Dejanović, red. prof.

Pojam interaktivne fikcije datira i pre pojave personalnih računara, zapravo nastaje u periodu kada je mali broj akademika i naučnika imao pristup tadašnjim računarima [9]. Iako je prošlo vreme interaktivne fikcije i ona danas nije ni blizu po prodaji kao ostale popularne video igre, i dalje je aktivna u zajednicama koje se bave interaktivnom fikcijom najviše na nivou hobija. Istorija interaktivne fikcije može se podeliti na nekoliko perioda.

2.1. Period 1960-ih i 1970-ih

U ovom periodu pojavljuju se prvi primeri interaktivne fikcije, Eliza i SHRDLU. Oba programa su koristila procesiranje prirodnog jezika za analizu unosa komande od strane igrača i za odgovaranje na unesenu komandu. Eliza je simulirala psihoterapeuta čiji je cilj bio da daje odgovore što sličnije čoveku na osnovu unosa. Sa druge strane, SHRDLU je koristio veštačku inteligenciju kako bi pomerao virtualne objekte po okruženju i potom bi davao odgovore na pitanja o izgledu tog okruženja. U ovom periodu, nastaje i jedna od najpopularnijih interaktivnih fikcija pod nazivom Adventure. Ona je predstavljala simulaciju pećine koju je igrač istraživao.

2.2. Komercijalna era

Tokom 80-ih godina prošlog veka kompanija Infocom je imala jedan od najvećih uticaja u oblasti interaktivne fikcije. U ovom periodu je takođe postalo popularno pretvaranje knjiga u interaktivnu fikciju. Sve ovo rezultovalo je velikim brojem objavljenih naslova koji su dostigli veliku popularnost.

2.3. Period 90-ih godina

Tokom 90-ih godina prošlog veka dolazi do pada na tržištu interaktivne fikcije, obzirom na razvoj drugih video igara. Velik broj kompanija iz oblasti interaktivne fikcije je do 1992. godine bilo ugašeno.

2.3. Moderna era

Obzirom da se već u prethodnom periodu tržište interaktivne fikcije smanjilo, primat u oblasti preuzima onlajn zajednica interaktivne fikcije. Skoro sva interaktivna fikcija razvijana poslednjih godina je dostupna onlajn potpuno besplatno, a razvijana je od strane entuzijasta u okviru zajednice.

3. POSTOJEĆA REŠENJA

Velik broj sistema za razvoj interaktivne fikcije razvijen je tokom 90-ih i 2000-ih godina, među kojima su najveću popularnost stekli alat Inform i TADS.

3.1. Inform

Inform je sistem namenjen dizajnu interaktivne fikcije razvijen 1993. godine. Ovaj alat može da generiše programe dizajnirane za Z-Code i Glulx virtualne mašine. Između 1993. i 1996. godine objavljeno je prvih 5 verzija Inform jezika. Jedna od najbitnijih verzija, Inform 6, objavljena je 1996. godine. Sve dok nije objavljena nova verzija, Inform 7, 2006. godine, Inform 6 je bio izuzetno stabilan i popularan izbor za razvoj interaktivne fikcije. Iako ova verzija alata nije jednostavna za savladati i naučiti, široko je rasprostranjena, a to potvrđuje i činjenica da je Inform 6 dizajniran za prevodjenja i na druge jezike pored engleskog, kao što su francuski, nemački, italijanski, ruski, španski i drugi. Nakon velikog uspeha Inform 6 sistema, 30. aprila 2006. godine zvanično je objavljena beta verzija Inform 7 alata koji je besplatan, a od aprila 2022. postaje projekat otvorenog koda. Poznat je po tome što je baziran na procesuiranju prirodnog jezika i zasnovan na pravilima, a ne na objektima. Iako je naslednik Inform 6, sintaksa jezika je u potpunosti različita u odnosu na prethodnu verziju. Inform 7 pruža autoru mnogo veći nivo apstrakcije i čitkiji kod u odnosu na prethodnu verziju. Velik broj igara razvijen je koristeći upravo ovu verziju alata, od kojih su neke i pobednici na takmičenjima interaktivne fikcije [2].

3.2. TADS

TADS je besplatan sistem otvorenog koda za razvoj interaktivne fikcije koji se sastoji od nekoliko biblioteka. Predstavlja robustan i moderan jezik specifičan za domen koji će biti lak za korišćenje svakome ko je upoznat sa Javascript ili C++ programskim jezikom. Igre razvijene korišćenjem ovog alata mogu da uključuju grafiku, animacije, zvučne efekte ili formatiranje teksta koristeći HTML sintaksu. Prva verzija ovog sistema, odnosno TADS 1, objavljen je 1988. godine, a ubrzo potom je objavljena i druga verzija. Od kasnih 1980-ih do ranih 1990-ih godina, već spomenuti alat Inform i TADS su bili ubedljivo najviše korišćeni alati za razvoj interaktivne fikcije, omogućavajući amaterskim zajednicama za interaktivnu fikciju uspešan razvoj igara. Sredinom 2000-ih, tačnije 2006. godine, alat doživljava veliki preobražaj objavljivanjem treće verzije, TADS 3. Ova verzija sadržala je veliki broj novih funkcionalnosti i takođe je postavila nove granice razvoja interaktivne fikcije i dizajna sveta, uključujući prostore koji se sastoje od odredjenog broja pod-soba, kao i interakcija neigrivih karaktera sa svetom. TADS 3.1 osvojio je nagradu za najbolji tehnološki razvoj 2011. godine, nakon što je, između ostalog, uveo podršku za onlajn igranje interaktivnih fikcija [3].

4. KORIŠĆENI ALATI

Alati koji su korišćeni ili isprobani pri razvoju mogućeg rešenja na temu jezika specifičnog za domen interaktivne fikcije jesu textX kao meta-jezik, Tkinter za grafički korisnički interfejs i Stable Diffusion, Eden AI i Craiyon Wrapper biblioteka za Python, svi namenjeni za generisanje slika na osnovu teksta.

4.1. textX

TextX predstavlja meta-jezik namenjen definisanju jezika specifičnih za domen u Python programskom jeziku. Meta-jezik predstavlja jezik za definisanje drugog jezika. Na osnovu definisane gramatike jezika, textX automatski generiše i meta-model u vidu Python klase i parser, čija je namena da parsira izraze novog jezika i generiše graf Python objekata baziranih na odgovarajućem meta-modelu [4].

4.2. Tkinter

Tkinter je veoma popularan izbor među bibliotekama za razvoj grafičkog korisničkog interfejsa u Python okruženju. Predstavlja najbrži i najjednostavniji način za kreiranje korisničkog interfejsa aplikacije. Najvažniji koncepti ove biblioteke jesu widget-i, koji predstavljaju gradivne komponente grafičkog korisničkog interfejsa, kao i njihova hijerarhija, konfiguracija i geometrija [5].

4.3. Stable Diffusion

Stable Diffusion je model dubokog učenja koji generiše slike na osnovu teksta na ulazu. Baziran je na tehnikama difuzije i objavljen je 2022. godine [7]. Obzirom da se ovaj model pokreće na računaru i da je preporučena specifikacija grafička karta sa najmanje 4 gigabajta video memorije, korišćenje ovog modela na hardveru korišćenom za izradu projekta nije bilo moguće.

4.4. Eden AI

Eden AI je servis u oblaku i predstavlja platformu koja objedinjuje različite modele veštačke inteligencije i mašinsko učenje u jednostavan interfejs koji programeri mogu integrisati u svoje projekte. Pored procesiranja prirodnog jezika, prepoznavanja slika i govorne tehnologije, takođe pruža mogućnost generisanja slika [8]. Ne zahteva moćan hardver, a korišćenje se u slučaju ove platforme naplaćuje po pozivu ka servisu.

4.5. Craiyon Wrapper za Python

Craiyon predstavlja generator slika koji koristi DALL-E 2 model dubokog učenja [6]. Popularnost je stekao prvenstveno zbog toga što je besplatan za korišćenje i ne zahteva moćan hardver. Upotrebljen je kao Python biblioteka koja predstavlja wrapper za Craiyon u okviru projekta.

5. META-MODEL INTERAKTIVNE FIKCIJE

Meta-model predstavlja suštinu domena, odnosno sadrži koncepte domena, njihove međusobne veze i ograničenja. Pre samog razvoja jezika specifičnog za domen, neophodno je izvršiti analizu domena tokom koje će se izdvojiti koncepti, pravila i ograničenja korišćena u tom domenu. U slučaju interaktivne fikcije izdvaja se nekoliko koncepata, svet u kome se igrač kreće najčešće unosom komandi, zatim objekti prisutni u tom prostoru sa kojima igrač može ili ne može da interaguje. Koncept inventara glavnog lika omogućava skladištenje objekata, koje zatim u nekom momentu igrač može da iskoristi. Na osnovu prethodno navedenog, izdvojeni su entiteti koji će biti dostupni. U okviru jedne igre u implementiranom projektu glavni entiteti jesu glavni lik, njegovi atributi i inventar.

Nakon toga, entitet scene koja predstavlja određeni trenutak u vremenu na jednoj lokaciji. Takođe, entitet lokacije na kojoj se mogu nalaziti objekti sa kojima igrač može da interaguje. Nakon analize domena, sledi definisanje samog jezika specifičnog za domen interaktivne fikcije i njegove gramatike koristeći prethodno opisani textX meta-jezik.

U okviru igre definisane jezikom specifičnim za domen interaktivne fikcije u okviru ovog projekta, izdvaja se nekoliko bitnih pravila. Prilikom definisanja igre, neophodno je definisati i glavnog lika, odnosno karaktera, koji može da ima nula ili više atributa. Atribut predstavlja određenu karakteristiku lika u određenoj količini. Pored atributa, karakter takođe može u svom inventaru da ima nula ili više objekata, gde takođe i inventar može ili ne mora da ima maksimalni kapacitet. Svaka igra može da sadrži nula ili više definisanih lokacija koje se mogu koristiti u igri, a mora da sadrži barem jednu ili više definisanih scena. Svaka stavka u inventaru, odnosno objekat, mora da sadrži količinu i trenutno stanje, pored samog naziva. Takođe, svaki objekat koji postoji u igri, mora da ima svoju definiciju, odnosno definisana moguća stanja u kojima se može naći, akcije koje je moguće izvršiti nad tim objektom, kao i tranzicije koje definišu za svaku akciju iz kog u koje stanje prevodi objekat. Svaka lokacija pored jedinstvenog naziva, može da sadrži nula ili više dostupnih objekata. Obzirom da se igra sastoji od jedne ili više scena, svaka scena u igri mora pored jedinstvenog naziva da sadrži i podatak o lokaciji na kojoj se nalazi, kao i tekstualni opis scene. Opciono, scena može da sadrži i tekstualni opis za pozadinu, na osnovu kog se generiše slika pozadine scene, odnosno taj tekstualni opis predstavlja ulaz u generator slike koji je korišćen pri implementaciji projekta. Takođe, scena može da sadrži opcije čiji izbor dalje razvija tok same igre. Ukoliko je završna scena u pitanju, scena ne treba da sadrži opcije. U svakom drugom slučaju, scena treba da sadrži jednu ili više mogućih izbora. Svaki izbor mora da sadrži tekstualni opis, a opciono može da sadrži uslov čija evaluacija rezultira time da li će izbor biti dostupan za odabir igraču ili ne. Pored toga, izbor može da sadrži jednu ili više nagrada, koje mogu biti pozitivne i negativne, a utiču na kvantitet određenog atributa. Slično kao i za nagrade, opcija može da ima jednu ili više nagrada za inventar, koje rezultiraju povećanjem ili smanjenjem kvantiteta određenog objekta u inventaru. Takođe, svaki izbor poseduje referencu na narednu scenu koja sledi nakon odabira te opcije. Što se tiče uslova koji mogu postojati pri izboru, uslov se odnosi ili na atribut ili na stavku inventara gde se evaluira da li kvantitet navedenog atributa, odnosno objekta odgovara postavljenom uslovu. Izbor može da ima niz ulančanih uslova sa „i“ ili „ili“ logičkim operatorom koji se takođe na kraju evaluira u tačnu ili netačnu vrednost. Ukoliko uslov nije ispunjen izbor nije dostupan za odabir igraču, dok je u suprotnom moguće odabrati određeni uslov.

6. INTERPRETER

Da bi bilo moguće igrati kreirane interaktivne fikcije, neophodno je postojanje interpretera. Interpreter razume model i vrši manipulaciju tog modela na osnovu igračevih odabira u igri. Interpreter je za potrebe ovog projekta

implementiran u Python programskom jeziku, dok samo učitavanje modela obavlja textX alat.

7. PRIMER IGRE UPOTREBOM IMPLEMENTIRANOG JEZIKA

Na slici 1. predstavljena je igra pod nazivom ForestExplorer, gde je naziv karaktera Explorer. Karakter u ovoj igri poseduje tri atributa i inicijalno poseduje dva objekta u inventaru u određenom kvantitetu i stanju. Takođe, maksimalni kapacitet inventara u definisanoj igri iznosi tri objekta.

```
Game ForestExplorer {
  character Explorer {
    attributes: [
      health: 5
      gold: 10
      intelligence: 3
    ]
    inventory: [
      axe currentState: OK count: 1
      key currentState: OK count: 1
    ]
    inventoryCapacity: 3
  }
}
```

Slika 1. Definisane igra, atributa i inventara

Dalje se vrši definicija svakog objekta koji se može pojaviti u toku igre, navodeći naziv objekta, moguća stanja u kojima se objekat može naći, kao i akcije koje je moguće izvršiti nad tim objektom, i na kraju tranzicije koje definišu iz kog u koje stanje prelazi objekat pri izvršavanju određene akcije. Definicija objekata u slučaju ove igre prikazana je na slici 2.

```
inventoryDefinition: [
  {
    axe
    states: [OK, BROKEN]
    actions: [BREAK]
    transitions: [
      BREAK: OK to BROKEN
    ]
  },
  {
    key
    states: [OK, BROKEN]
    actions: [BREAK]
    transitions: [
      BREAK: OK to BROKEN
    ]
  },
  {
    tree
    states: [OK, CUT, IN_PIECES]
    actions: [CUT, CHOP]
    transitions: [
      CUT: OK to CUT
      CHOP: OK to IN_PIECES
    ]
  }
]
```

Slika 2. Definicija objekata

Nakon definicije objekata, autor definiše sve lokacije koje se dalje mogu referencirati u scenama. Na slici 3. definisane su tri lokacije i objekti koji se nalaze na njima. Autor dalje definiše potreban broj scena kako bi igra bila kompletirana. Jedna scena može biti referencirana od strane jedne ili više drugih scena, pa je tako moguće imati

samo jedan kraj igre, ili pak velik broj različitih završetaka. Primer definicije scene prikazan je na slici 4.

```
locations: [
  {
    location: forest_entry
    objects: [
      tree currentState: OK count: 2,
      axe currentState: BROKEN count: 1
    ]
  },
  {
    location: pond
    objects: []
  },
  {
    location: pond_shore
    objects: []
  }
]
```

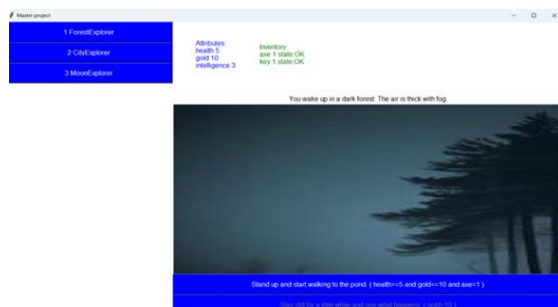
Slika 3: Definicija lokacija

```
scene OpeningScene {
  location: forest_entry
  text: "You wake up in a dark forest. The air is thick with fog."
  backgroundDescription: "You wake up in a dark forest. The air is thick with fog. The sky is dark and full of stars. On your left side is a pond."
  choices: [
    {
      text: "Stand up and start walking to the pond."
      condition: health >= 5 and gold <= 10 and axe = 1
      reward: health 1
      nextScene: PondScene
      inventory: add 1 key
    },
    {
      text: "Stay still for a little while and see what happens."
      reward: health -1, gold 1
      condition: gold > 10
      nextScene: StayStillScene
      inventory: add 2 key
    }
  ]
}
```

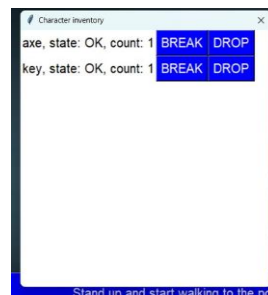
Slika 4. Definicija scene

8. GRAFIČKI KORISNIČKI INTERFEJS

Grafički korisnički interfejs implementiran je upotrebom Tkinter biblioteke u Python programskom jeziku. Interfejs se sastoji od nekoliko celina. Sa leve strane nalaze se sve dostupne igre, a na desnoj strani se nalaze izlistani atributi i objekti dostupni u inventaru karaktera. Ispod toga nalazi se opis scene, potencijalno izgenerisana slika koja predstavlja pozadinu, kao i dostupni izbori (slika 5). Takođe, igrač u svakom momentu igre može da interaguje i sa objektima na lokaciji na kojoj se nalazi i sa objektima koji se nalaze u njegovom inventaru. Igraču se na prozoru prikazuje svaki objekat sa trenutnim stanjem i količinom, kao i sve dostupne akcije koje je moguće izvršiti nad njim (slika 6).



Slika 5. Grafički korisnički interfejs



Slika 6. Inventar karaktera

9. ZAKLJUČAK

Interaktivna fikcija predstavlja bitan segment u istoriji računarskih igara. Iako je pojavom drugih vrsta igara interaktivna fikcija izgubila na popularnosti, i danas je ona prisutna u zajednicama interaktivne fikcije gde se razvija najčešće iz hobija. Jezik implementiran u ovom radu ispunjava osnovne koncepte interaktivne fikcije, gde je glavna razlika u tome što se umesto unosa tekstualnih komandi, ovde vrši odabir predefinisanih opcija. Naravno, ovaj jezik pruža nekoliko različitih pravaca za unapredjenje i dalji razvoj.

10. LITERATURA

- [1] Interactive fiction, https://en.wikipedia.org/wiki/Interactive_fiction (pristupljeno u septembru 2024.)
- [2] Inform, <https://en.wikipedia.org/wiki/Inform> (pristupljeno u oktobru 2024.)
- [3] TADS, <https://www.tads.org> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [4] TextX, <https://www.igordejanovic.net/courses/tech/textX/> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [5] Tkinter, <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [6] Craiyon, <https://pypi.org/project/craiyon.py> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [7] Stable Diffusion, https://en.wikipedia.org/wiki/Stable_Diffusion (pristupljeno u septembru 2024.)
- [8] Eden AI, <https://docs.edenai.co/docs/getting-started-with-edan-ai> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [9] Montfort, Nick. "Riddle Machines: The History and Nature of Interactive Fiction." A Companion to Digital Literary Studies, edited by Ray Siemens and Susan Schreibman, John Wiley & Sons Ltd, 2013, 267-282 (pristupljeno u septembru 2024.)

Kratka biografija:



Sara Sinjeri rođena je u Somboru 2000. god. Upisuje Fakultet tehničkih nauka 2019. godine, smer Računarstvo i automatika. Osnovne studije završila je u julu 2023. godine. Iste godine upisuje master studije, smer Računarstvo i automatika, modul Softversko inženjerstvo. kontakt: sarasinjeri@gmail.com

УПОРЕДНО ИСПИТИВАЊЕ И КОМБИНОВАЊЕ МЕТАХЕУРИСТИЧКИХ АЛГОРИТАМА У ПРОБЛЕМУ НАЛАЖЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈЕ ПУТАЊЕ COMPARATIVE EXAMINATION AND COMBINATION OF METAHEURISTIC ALGORITHMS IN PATH OPTIMIZATION PROBLEM

Игор Мандарић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – РАЧУНАРСТВО И АУТОМАТИКА

Кратак садржај – У овом раду су обрађена три метахеуристичка алгорита у проблему налажења и оптимизације путање. Први је генетски алгоритам, други је оптимизација колонијом мравца, а трећи је хибридни, који је предложен у овом раду и заснован на њима и као такав показао значајне предности у односу на претходна два.

Кључне речи: Метахеуристика, Генетски алгоритам, Оптимизација колоније мравца

Abstract – This paper addresses three metaheuristic algorithms for the problem of pathfinding and path optimization. The first is the Genetic Algorithm, the second is Ant Colony Optimization, and the third is a hybrid algorithm based on these two, proposed in this work, which demonstrates significant advantages over the other two methods.

Keywords: Metaheuristic, Genetic Algorithm, Ant Colony Optimization

1. УВОД

Метахеуристички алгоритми представљају класу алгорита који се заснивају на различитим типовима сложених хеуристика, где се оптимална решења траже примарно стохастичким, а не детерминистичким приступом [1]. На овај начин се постижу врло ефикасни резултати, посебно у случајевима са пуно локалних оптимума.

У овом раду биће извршен преглед три метахеуристичка алгорита у односу на њихову способност проналазка и оптимизације путање на примеру тзв. мрежног света (енг. *grid world*). Први је генетски алгоритам (енг. *Genetic Algorithm* – у даљем тексту *GA*), други је алгоритам оптимизације колонијом мравца (енг. *Ant Colony Optimization* – у даљем тексту *ACO*), а трећи је хибридни алгоритам добијен комбинацијом претходна два алгорита и који је предложен од стране аутора са циљем да се њиховом комбинацијом минимизују мане и побољшају предности прва два алгорита.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био др Владимир Бугарски, доцент.

2. КОРИШЋЕНЕ МЕТОДЕ

2.1. Генетски алгоритам

Генетски алгоритам је осмишљен 1975. од стране Џона Холанда (енг. *John Henry Holland*) [2] као метахеуристички алгоритам инспирисан процесом еволуције и природне селекције. Идеја овог алгорита је да се формира популација јединки репрезентована одговарајућим генима, тј. кодом који се зове још и хромозом (енг. *Chromosome*). Основна одлика тако добијених јединки је могућност њихове евалуације коришћењем критеријумске функције (енг. *fitness function*), познате још и као функција прилагођености, дефинисану у односу на природу проблема који се обрађује. Потом се као у природи бирају најбоље јединке процесом селекције (енг. *Selection*) на основу вредности добијених њиховом критеријумском функцијом, а затим се укрштањем (енг. *Crossover*) ствара потомство. После укрштања, код нових јединки долази до мутације (енг. *Mutation*) гена, са циљем уношења нових случајних информација у хромозоме које нису наслеђене од родитеља. На тај начин се постиже већа робусност алгорита, чиме он постаје отпорнији на локалне оптимуме. Ови процеси се понављају док се не задовољи критеријум конвергенције (енг. *Stopping Criteria*), углавном унапред дефинисана вредност критеријумске функције и ту свака нова популација потомака чини засебну генерацију која као таква представља родитеље наредној генерацији. Изузеци овом правилу су иницијална генерација која се дефинише углавном на случајан начин или путем одређене хеуристике и понекад одређени број најбољих јединки које се преносе у наредну генерацију у процесу званом елитизам (енг. *Elitism*).

2.2. Оптимизација колонијом мравца

Када је реч о оптимизацији колонијом мравца, овај алгоритам је настао као докторска дисертација Марка Дорига (енг. *Marco Dorigo*) 1992. године [3]. У њему је изложио своју идеју о алгоритму инспирисаном понашањем мравца у природи. Наиме, мрави при тражењу путање до хране остављају иза себе специфичан мирис добијен хемијском супстанцом званом феромони (енг. *pheromones*), који привлачи друге мраве. Што се више мрави крећу том путањом и чешће то је јачи траг феромона, док код оних путања код којих то није случај дође с временом до евапорације (енг. *Evaporation*) феромона и њиховог

нестанка. Доригова идеја је била да се ова појава преточи у алгоритам претраге у графовима, тако што би се на везама између чворова распоредили вештачки феромони, а по графу би били потом пуштени вештачки мрави да се крећу у простору претраге (енг. *search space*). Кретање мравца је било стохастичко, а вероватноћа да мрав стане на неки од чворова у његовој околини се рачунала по следећој формули:

$$p(c_{ij}|s^p) = \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{c_{il}, l \in N(s^p)} \tau_{il}^\alpha \cdot \eta_{il}^\beta} \quad \forall c_{ij} \in N(s^p); \quad (1)$$

где је $p(c_{ij}|s^p)$ вероватноћа да се изврши транзиција са тренутног чвора i на потенцијални чвор j при непотпуним скупом решења, тј. веза са суседним чворовима s^p , где је $N(s^p)$ могући скуп непотпуних решења у који спада c_{ij} . Она се одређује количником производа τ_{ij}^α и η_{ij}^β и суме производа τ_{il}^α и η_{il}^β , од чега τ представља ниво феромона између чворова у његовом индексу, а η хеуристичку информацију (енг. *heuristic information*) везе чворова у његовом индексу која зависи од природе проблема, док је l итератор који представља све друге чворове суседне чвору i осим чвора j . Преостали параметри су α и β који подешавају значај феромона, односно хеуристике у рачунању вероватноће. После завршетка кретања свих мравца приступа се обнављању нивоа феромона, од стране свих или само појединих мравца, што се може приказати следећом формулом:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}; \quad (2)$$

где је $(1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$ део који се односи на евапорацију феромона између чворова i и j , са параметром ρ који представља вредност стопе евапорације, а $\Delta\tau_{ij}$ допринос појединачних мравца заснован на квалитету њихових решења између поменутих чворова. Овај поступак се итеративно понавља док се не задовољи критеријум конвергенције.

2.3. Хибридна метода

Кад је реч о хибридној методи коришћеној у раду, она се заснива на идеји аутора да се алгоритам састоји из две фазе, прве са *GA* и друге са *ACO*. Идеја прве фазе је да се у малом броју генерација покуша пронаћи глобални оптимум, а ако то није случај да се најбоља међусобно различита решења искористе за иницијализацију нивоа феромона у другој фази. Том приликом би вредности феромона биле у распону од 0.1 до 1, где би прва вредност била резервисана за вредности феромона на везама које нису биле укључене у решења добијена са *GA* фазом, а потоња за вредности укључене у сва решења добијена у *GA* фази, са преосталим вредностима скалираним између. Потом би приликом прве обнове нивоа феромона све вредности од 0,1 и мање биле постављене на 0, осигуравајући тако бржу конвергенцију методе.

3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Постоји релативно велик број радова везан за примену *GA* и *ACO* у проблемима проналаaska и оптимизације путање, пошто је реч о веома познатим и прихваћеним

алгоритмима. Из тог разлога ћемо се фокусирати на њихову хибридизацију, како са другим алгоритмима, тако и на међусобну.

3.1. Генерална хибридизација *GA* и *ACO*

Кад разматрамо проблем хибридизације ових алгоритама са другим алгоритмима, ту је тешко заобићи рад групе аутора са блиског истока из 2017. године [4] који се бави хибридизацијом метахеуристичких алгоритама са *A-star* алгоритмом (енг. *A-star* – у даљем тексту *A**), веома популарним, егзактним алгоритмом за претрагу путања у графовима. Хибридизација је вршена тако што је коришћењем *A** алгоритма, односно његове варијанте познате као „релаксирани“ *A** (енг. *Relaxed A** - у даљем тексту *RA**), креиран иницијални скуп решења, који је код *GA* представљао иницијалну популацију, а код *ACO* иницијалну концентрацију феромона. Резултати су показали да хибридизација комбиновањем *RA** са *GA* даје добре резултате, са солидним компромисом између квалитета путање и брзине претраге у односу на *RA** и *A**. Нажалост исто се не може рећи за *ACO* који се није добро показао, примарно због насумичне природе кретања мравца.

Још један веома интересантан допринос проучавању метахеуристичких алгоритама у претраживању и оптимизацији путање је и рад турских аутора из 2023. године [5]. У њему се дискутује детаљно читав низ метахеуристичких алгоритама укључујући ту и *GA* и *ACO*, као и могућих њихових хибридизација са другим алгоритмима, постигнутих у истраживањима претходних деценија, а чији би детаљан опис изашао ван оквира овог рада. Ту, за разлику од претходно обрађеног рада, аутори тврде да се *ACO* показао значајно ефикаснијим од *GA* у проблему налаaska оптималне путање, а истичу и да његово комбиновање са метахеуристичким алгоритмом оптимизације ројем честица (енг. *Particle Swarm Optimization*) показује још боље резултате него основни *ACO* алгоритам.

3.2. Међусобна хибридизација *GA* и *ACO*

Што се тиче хибридног приступа комбиновањем *GA* и *ACO*, он није толико распрострањен као њихова самостална употреба, али и поред тога постоји одређени број истраживања који се бави тиме, било кад је реч о проблему тражења и оптимизације путање, било кад је реч о другим оптимизационим проблемима, попут оних везаних за логистику [6].

Један од значајних радова који се бавио проблемом комбиновања *GA* и *ACO* у циљу тражења и оптимизације путање је и рад индонежанских научника 2013. године [7]. У њему се предлаже комбиновање поменутих алгоритама тако што би они делили велики број параметара и, још битније, путање мравца су могле да се претворе у хромозоме, а хромозоми у путање мравца које су могли да се искористе за обнављање нивоа феромона. Идеја аутора је била да оба алгоритма теку паралелно и да после сваке генерације, тј. итерације се бирају најбоље путање од оба алгоритма, истом методом евалуације, и које су потом коришћене за нову популацију код *GA* и обнављање вредности феромона код *ACO*. Ова метода

је потом тестирана над проблемом трговачког путника (енг. *Travelling Salesman Problem*), где је показао супериорност у односу на базне алгоритме у готово свим случајевима.

Мало другачији приступ овом проблему је имала већ поменута група аутора са блиског истока у раду објављеном 2014. године [8]. Њихова идеја је била да се алгоритам подели на две фазе. У првој фази би био коришћен *ACO* са циљем генерисања иницијалне популације за другу *GA* фазу. Овај приступ је потом тестиран на графовима различитих величина, заједно са базним алгоритмима, али и са Ђикстра (енг. *Dijkstra*) алгоритмом који је веома популаран егзактан алгоритам за претрагу графова (толико популаран да се и *A** базира на њему). Резултати су показали да се нови хибридни алгоритам показао пуно боље у односу на базне, са резултатима у нивоу Ђикстре, али уз значајно краће време у односу на поменути.

4. ПОСТУПАК

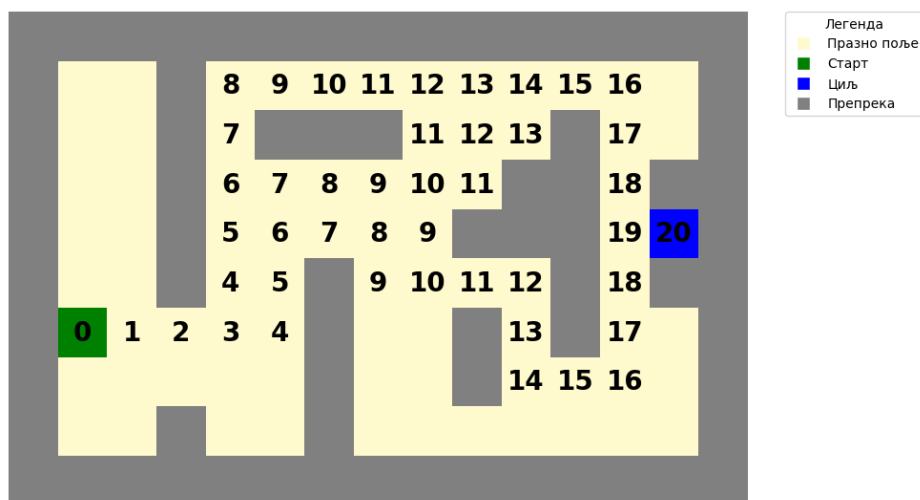
Основна поставка проблема заједничка за сва три алгоритма се састојала од следећег:

1. Направљено је јединствено симулационо мрежно окружење димензија 10 x 15 поља које је у себи имало одређени број непрелазних

препрека, празних поља на које је било могуће стати, као и стартно и циљно поље. Сама конфигурација ове мапе је била таква да у њој има више различитих могућих путања оптималне дужине, дужине 21 поље.

2. Максимална дужина било које путање је била 33 поља.
3. Све путање почињу у стартном пољу, са циљем завршетка у циљном пољу.
4. Сваки од разматраних алгоритама је имао скуп улазних параметара, од којих су неки имали фиксне вредности, а неки су се мењали, зависно од симулације. На тај начин је добијено више јединствених скупова улазних параметара за сваки алгоритам.
5. За сваки од њих је извршено 10 симулација, при различитим вредностима параметра случајности (енг. *random state*), обезбеђујући на тај начин поновљивост, односно псеудостохастичку природу експеримента. Тако добијена решења су затим анализирана.

Коришћена мапа се може видети на слици 1, са бројевима који представљају вредност корака у склопу потенцијалне оптималне путање.



Слика 1: Приказ коришћене мапе

Када је реч о *GA* методи, за њу су важила следећа правила:

1. Популација је била дефинисана као хромозом са низом бита, који су у групама од два садржали информацију о правцу кретања на кардиналним осама.
2. Тим смерницама се водио агент који се кретао по мапи, са изузетком кад су смернице биле такве да траже да удари у препреку, тад би узео насумично други правац и исправио тај део хромозома.
3. Тако добијена путања, односно хромозом је евалуирана са две критеријумске функције, примарном и секундарном. Примарна се заснивала на еуклидској удаљености (енг.

Euclidean distance) последњег и „оптималног“ 21. поља путање, ако потоње постоји у путањи, у односу на поље циља. Секундарна се састојала од дужине путање.

4. Рангирање јединки популације, тј. путања се вршило тако што су већи значај имале путање са мањом примарном и секундарном критеријумском вредности, где би друга била коришћена само кад две путање имају исту прву критеријумску вредност.
5. Критеријум конвергенције је био да се достигне оптимална путања.

Што се тиче *ACO* за њу су важила следећа правила:

1. Мрави су се кретали по мапи вођени формулом (1) тако да је хеуристичка

информација η била еуклидска дистанца потенцијалног наредног поља j у односу на циљно поље.

2. Пошто су растојања између поља у мапи еквиливантна, носиоци вредности феромона су била поља, а не везе између њих.
3. Обнављање вредности феромона је било рађено у два случаја, зависно од тога да ли је пронађена оптимална путања или не. У првом случају обнављање су вршили само сви мрави који су успели да стигну до циља, док би у другом обнављање вршили увек само мрав са најбољом глобалном путањом и мрав са најбољом путањом у итерацији.
4. Пре сваког унапређивања вредности феромона све вредности мање или једнаке 0,1 би се прво поставиле на 0. Потом би се применила формула (2), а после ње би се вредности скалирале у опсегу од 0 до 1.

Правила симулације која су важила за хибридни алгоритам су обухваћена у правилима за његове базне алгоритме, са принципом рада описаним у претходном поглављу.

4. РЕЗУЛТАТИ

После извршења симулација добијени су следећи резултати:

1. Код 33,33 % *GA* симулација није постигнута конвергенција, у односу на 7,5 % код *ACO* симулација и 4,38 % код хибридне методе.
2. У случајевима кад је достигнута конвергенција просечно време трајања симулације је било 6,75 секунди за *GA*, 3,51 секунду за *ACO* и 0,76 секунди за хибридну методу.
3. Код хибридног алгоритма је у 66,67 % симулација дошло до конвергирања у првој фази.

На основу добијених резултата се може закључити следеће:

1. *GA* као самостална метода се није показала задовољавајуће у решавању овог типа проблема.
2. *ACO* постиже много боље резултате због хеуристике у њему, међутим доста зависи од тога како се феромони иницијализују.
3. Хибридна метода коју аутор предлаже се показала веома робусно, где је искоришћена са једне стране тенденција *GA* да ако успе да конвергира то уради углавном релативно брзо и у малом броју генерација, а са друге стране *ACO* у ситуацији кад феромони носе информације од њихове иницијализације, без чекања да се њихове вредности обнове.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је обрађен проблем проналаска и оптимизације путање у мрежној мапи помоћу три метахеуристичка алгоритма, а то су генетски алгоритми, оптимизација колонијом мравца и трећи,

хибридни алгоритам, којег је аутор предложио са циљем да се помену два комбинују.

На основу добијених резултата може се закључити да је нови алгоритам значајно супериорнији у односу на базне алгоритме из којих је настао у решавању овог типа проблема.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. H. Gandomi, X.-S. Yang, S. Talatahari, and A. H. Alavi, "Metaheuristic algorithms in modeling and optimization," *Metaheuristic Appl. Struct. Infrastruct.*, vol. 1, pp. 1–24, 2013.
- [2] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. 1975.
- [3] M. Dorigo, "Optimization, Learning and Natural Algorithms," *PhD Thesis Politec. Milano*, 1992, Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950400977139328>
- [4] I. Chaari, A. Koubaa, H. Bennaceur, A. Ammar, M. Alajlan, and H. Youssef, "Design and performance analysis of global path planning techniques for autonomous mobile robots in grid environments," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 14, no. 2, p. 1729881416663663, Mar. 2017, doi: 10.1177/1729881416663663.
- [5] O. Mbah and Q. Zeeshan, "Optimizing Path Planning for Smart Vehicles: A Comprehensive Review of Metaheuristic Algorithms," *J. Eng. Manag. Syst. Eng.*, vol. 2, no. 4, pp. 231–271, Dec. 2023, doi: 10.56578/jemse020405.
- [6] J. Luan, Z. Yao, F. Zhao, and X. Song, "A novel method to solve supplier selection problem: Hybrid algorithm of genetic algorithm and ant colony optimization," *Math. Comput. Simul.*, vol. 156, pp. 294–309, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.matcom.2018.08.011.
- [7] Z. Zukhri and I. V. Paputungan, "A Hybrid Optimization Algorithm based on Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization," *Int. J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 4, no. 5, pp. 63–75, Sep. 2013, doi: 10.5121/ijaia.2013.4505.
- [8] I. Châari, A. Koubâa, S. Trigui, H. Bennaceur, A. Ammar, and K. Al-Shalfan, "SmartPATH: An Efficient Hybrid ACO-GA Algorithm for Solving the Global Path Planning Problem of Mobile Robots," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 11, no. 7, p. 94, Jul. 2014, doi: 10.5772/58543.

Кратка биографија:



Игор Мандарић је рођен 1998, године у Новом Саду, где је Мастер рад на Факултету техничких наука из области Вештачка интелигенција и машинско учење – Интелигентни системи за доношење одлука, одбранио 2024. године.

Контакт:
igor.mandarich@protonmail.com

DIGITALNA FORENZIKA DRUŠTVENIH MREŽA**DIGITAL FORENSICS OF SOCIAL NETWORKS**Nikolina Gašić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu je istražen proces digitalne forenzike društvenih mreža, sa fokusom na pregled tehnika i alata za prikupljanje, pregledanje i analizu digitalnih dokaza. Primena forenzičkih tehnika i alata prikazana je na praktičnom primeru istrage na društvenim mrežama kroz studiju slučaja.

Ključne reči: forenzika, digitalna forenzika, društvene mreže

Abstract – This paper explores the process of digital forensics of social networks, with a focus on reviewing the techniques and tools for collecting, examining, and analyzing digital evidence. The application of these forensic techniques and tools is demonstrated through a practical example of an investigation on social networks through a case study.

Keywords: forensics, digital forensics, social networks

1. UVOD

Razvoj tehnologije i sve veća dostupnost interneta, doveli su do vrtoglavog porasta broja društvenih mreža, kao i njihovih korisnika. Služeći kao sredstvo komunikacije, razmene informacija i zabave, danas su društvene mreže postale sastavni deo svakodnevnog života miliona ljudi širom sveta. Međutim, uporedo sa njihovim rastom, dolazi i do porasta kriminalnih aktivnosti koje se odvijaju na ovim platformama. Digitalna forenzika i digitalni forenzičari igraju sve važniju ulogu u analiziranju i otkrivanju ovih zločina.

Digitalna forenzika ili digitalna forenzička nauka je grana forenzičke nauke koja se fokusira na pronalaženje i pregledanje materijala pronađenog na digitalnim uređajima [1]. Digitalna forenzika obuhvata više celina, a to su: identifikacija, prikupljanje, čuvanje, pregledanje, analiza i prezentacija digitalnih dokaza korišćenjem naučno i pravno valjanih metoda i alata [2]. Faza identifikacije predstavlja početak istrage i uključuje identifikaciju svih mogućih izvora digitalnih dokaza. U fazi prikupljanja forenzičar dobija pristup digitalnom uređaju koji sadrži neobrađene podatke koji su identifikovani kao relevantni za slučaj. Podaci se prikupljaju sa digitalnih uređaja pravljjenjem digitalne kopije, korišćenjem forenzički valjanih metoda i alata, tako da se ne kompromituju originalni podaci. Faza čuvanja se odnosi na čuvanje prikupljenih podataka primenom forenzički valjanih metoda i alata. Faza

pregledanja obuhvata pripremu i ekstrakciju potencijalnog digitalnog dokaza iz prikupljenih izvora podataka [2]. Tokom ove faze sirovi podaci se obrađuju u format koji se može analizirati. Faza analize je suština procesa digitalne forenzike. U ovoj fazi, forenzičari koriste specijalizovane alate i tehnike kako bi detaljno ispitali pripremljene podatke i izvukli relevantne informacije. Poslednja faza je faza prezentacije, odnosno deljenje informacija koje su otkrivene forenzičkom istragom, što uključuje pisanje sveobuhvatnog izveštaja i prezentaciju dokaza na sudu. Sve faze moraju da budu u skladu sa standardnim forenzičkim procedurama kako bi dokazi bili forenzički validni na sudu.

2. DRUŠTVENE MREŽE

Društvene mreže su digitalne platforme koje omogućavaju povezivanje ljudi preko interneta deljenjem raznih tekstualnih ili multimedijalnih sadržaja. One omogućavaju ljudima da kreiraju svoj onlajn identitet, da komuniciraju sa prijateljima, porodicom ili strancima i dele svoja mišljenja i informacije sa bilo koje lokacije na kojoj se nalaze. Fejsbuk (Facebook), Vocap (WhatsApp) i Instagram su platforme koje se nalaze na prvom, trećem i četvrtom mestu liste najpopularnijih društvenih mreža po podacima iz avgusta 2024. godine [3]. Zbog svoje dominantne pozicije i velikog broja korisnika, kao i činjenice da su sve tri platforme deo Meta Platforms Inc. kompanije, ove tri društvene mreže predstavljaju idealan predmet istraživanja za ovaj rad. Sve tri platforme su besplatne aplikacije koje omogućavaju olakšanu komunikaciju između ljudi. Nažalost, zbog anonimnosti koju ove mreže omogućavaju podložne su za delovanje zlonamernih korisnika. Neke od najčešćih kriminalnih aktivnosti koje se dešavaju na ovim platformama su krađa identiteta, fišing napadi, prevare u vezi sa prodajom i kupovinom i širenje mržnje i lažnih glasina. U borbi protiv sajber kriminala na društvenim mrežama, digitalna forenzika ima ključnu ulogu. Ona pruža alate za efikasnu istragu, može pomoći u hvatanju i kažnjavanju počinilaca i stvaranju bezbednijeg okruženja za sve.

3. TEHNIKE DIGITALNE FORENZIKE DRUŠTVENIH MREŽA

U ovom odeljku su prvo opisane tehnike prikupljanja podataka direktno od provajdera društvenih mreža na osnovu sudske naloga kao i ekstrakcije iz oblaka. Pošto se društvenim mrežama najčešće pristupa putem aplikacije na mobilnom uređaju ili veb pretraživača na računaru, podaci od interesa se mogu naći i na ovim uređajima, što ih čini potencijalnim izvorom dokaza za forenzičku istragu. Kako bi istraživanje društvenih mreža bilo

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Stevan Gostojić, red. prof.

kompletno u nastavku su opisane i tehnike digitalne forenzike računara, digitalne forenzike mobilnih uređaja i digitalne forenzike računarskih mreža.

3.1. Ekstrakcija podataka dobijenih direktno od provajdera društvenih mreža

Istražitelji mogu zatražiti sudski nalog za dobijanje podataka direktno od provajdera društvenih mreža, odnosno od kompanije Meta Platforms Inc. Kada je reč o dobijanju podataka od američkih internet kompanija poput ove, u krivičnim postupcima u Srbiji, neophodno je pokrenuti postupak međunarodne pravne pomoći. Ovaj proces se obično odvija putem molbe za pravnu pomoć koju nadležni organi u Srbiji upućuju nadležnim organima u Sjedinjenim Američkim Državama. Međutim, postoji i efikasnija procedura, opisana u Obaveštenju Ministarstva spoljnih poslova Republike Srbije [4], koja omogućava brže dobijanje podataka. Meta Platforms Inc. ima jednostavan sistem za slanje onlajn zahteva (Law Enforcement Online Request System), gde se zahtev može podneti isključivo zvaničnom mejl adresom organa reda. Podaci dobijeni na ovaj način mogu uključivati osnovne podatke o nalogu, kao što su korisničko ime, mejl povezan sa nalogom, puno ime korisnika, broj telefona, datum rođenja i datum kreiranja naloga; podatke vidljive javno, kao što su biografija, profilna slika, prijatelji/pratioci, slike i videi podeljeni od strane korisnika, uključujući opise, komentare, lajkove i sve povezane metapodatke; privatne podatke, kao što su privatne poruke, uključujući tekstualne poruke, fotografije, dokumenta, video i audio zapise, informacije o pretrazi korisnika u aplikaciji, IP adrese uređaja koji su se koristili za pristup nalogu, istorija prijavljivanja i pokušaja prijavljivanja, promene lozinke i izmene podešavanja naloga.

3.2. Ekstrakcija iz oblaka

Prikupljanje podataka sa naloga društvenih mreža moguće je ekstrakcijom iz oblaka. Ova tehnika se može obaviti ručno, u aplikaciji na mobilnom uređaju ili preko veb stranice na računaru, ili uz pomoć nekog od forenzičkih alata. Za ovu tehniku je potrebno imati kredencijale za pristup nalogu sa koga se prikupljaju podaci, ili pristup uređaju na kome je instalirana aplikacija sa već ulogovanim nalogom. Ukoliko istražitelji nemaju kredencijale korisničkog naloga od interesa niti pristup uređaju na kome se nalazi aplikacija sa ulogovanim nalogom mogu da ekstrahuju javne podatke iz oblak servera društvenih mreža koristeći neke od forenzičkih alata.

3.3. Digitalna forenzika mobilnih uređaja

Kako se društvene mreže danas uglavnom koriste preko mobilnih uređaja, oni postaju značajan izvor potencijalnih dokaza u forenzičkim istragama. Forenzika mobilnih uređaja je nauka o prikupljanju digitalnih dokaza ili podataka sa mobilnog uređaja pod forenzički ispravnim uslovima koristeći prihvaćene metode [5]. Osnovni načini ekstrakcije, odnosno prikupljanja podataka sa mobilnih uređaja se mogu podeliti u tri kategorije – ručna, logička i fizička ekstrakcija. Ručna ekstrakcija se odnosi na posmatranje i snimanje sadržaja sa ekrana mobilnog uređaja. Ovo je najlakši metod ekstrakcije, ali može zahtevati puno vremena. Logička ekstrakcija se primenjuje uz pomoć rezervnog kopiranja i sinhronizacije uređaja sa

računarom. Fizička ekstrakcija omogućava kreiranje bit po bit kopije mobilnog uređaja. Ovom metodom se mogu preuzeti i neki izbrisani podaci. Preuzeti podaci su često u sirovom formatu i nisu čitljivi, pa je potrebno dekodiranje kako bi se podaci pretvorili u razumljiv oblik. Metode fizičke ekstrakcije su hex dump, JTAG, chip-off i mikro čitanje. Za mnoga forenzička istraživanja potrebno je koristiti više različitih kategorija ekstrakcija kako bi se dobili što bolji rezultati.

Dva najzastupljenija operativna sistema koja koriste mobilni uređaji su Android i iOS. Ovi uređaji koriste različite operativne sisteme i različite fajl sisteme koji kreiraju podatke u različitim oblicima i imaju različite mehanizme za zaštitu podataka. Na Android uređajima enkripcija zavisi od verzije i proizvođača, dok iOS koristi snažnu hardversku enkripciju. Sa iOS uređajima ima manje mogućnosti da se dođe do podataka bez lozinke zbog njihovih bezbednosnih mera. Iako se osnovni principi digitalne forenzike primenjuju na obe platforme, postoje značajne razlike u praksi.

3.4. Digitalna forenzika računara

Digitalna forenzika računara je grana digitalne forenzike koja uključuje pronalaženje i analizu digitalnih informacija sa računara i uređaja za skladištenje podataka [6]. Računari mogu igrati ključnu ulogu u prikupljanju podataka sa društvenih mreža.

Forenzika veb pretraživača igra vitalnu ulogu u digitalnoj forenzici računara nudeći dragocene uvide u onlajn aktivnosti korisnika. To uključuje informacije kao što su posećene veb stranice, istorija pretrage, istorija preuzimanja, kolačići, kredencijali za prijavu, obeleživači i instalirane ekstenzije ili dodaci. Ispitivanjem ovih informacija forenzičari mogu razumeti ponašanje, preferencije i interakcije korisnika, pomažući u rekonstrukciji događaja, identifikovanju tragova i utvrđivanju motiva. Neki od najčešće korišćenih veb pretraživača su Google Chrome, Safari, Microsoft Edge i Mozilla Firefox.

3.5. Digitalna forenzika računarskih mreža

Mrežna forenzika, kao podoblast digitalne forenzike, sastoji se od praćenja i analize mrežnog saobraćaja i komunikacija računarskih sistema i uređaja u svrhu prikupljanja dokaza. Slično RAM memoriji, mrežna forenzika se u velikoj meri bavi promenljivim podacima koji su dostupni samo kratak vremenski period [7]. Postoje dve vrste mrežne forenzike – prikupljanje i analiza u realnom vremenu, kao i retroaktivna analiza već prikupljenih podataka. Istražitelji mrežne forenzike koriste analizatore protokola i snifere paketa. Analizator protokola je alat za tumačenje koji obezbeđuje ljudima razumljivo značenje mrežnih protokola. Sniferi paketa se koriste za presretanje podataka koji prolaze kroz bežičnu ili žičanu mrežu. Saobraćaj koji se odvija ka društvenim mrežama kao što su Fejsbuk, Instagram i Vocab je šifrovan, pa ga je teže analizirati. Forenzički alati za mrežni saobraćaj i dalje mogu biti korisni u određenoj meri. Iako se ne može videti sadržaj poruka, može se identifikovati da li je uopšte došlo do komunikacije sa serverima ovih platformi. Može se analizirati učestalost i vreme komunikacije, IP adrese i portovi. Neki alati omogućavaju i identifikaciju operativnih sistema, aplikacija i uređaja koji komuniciraju

sa serverima društvenih mreža. Mrežna forenzika je najefikasnija kada se kombinuje sa drugim forenzičkim tehnikama, kao što su digitalna forenzika računara i digitalna forenzika mobilnih uređaja.

4. ALATI DIGITALNE FORENZIKE DRUŠTVENIH MREŽA

Brz napredak tehnologije i sve veća upotreba računara i mobilnih uređaja doveli su do razvoja forenzičkih alata. S obzirom na stalni razvoj novih modela uređaja i njihovih operativnih sistema, forenzički alati se konstantno unapređuju. Stručnjaci često koriste više alata kako bi uporedili rezultate i osigurali tačnost istrage.

4.1. Alati za ekstrakciju iz oblaka

Pomoću alata poput Magnet AXIOM, Oxygen Forensic Suite i Cellebrite UFED podaci se mogu dobiti direktno sa oblak servera društvenih mreža. Ovi alati imaju slične funkcionalnosti uz male razlike u opcijama i u korisničkom interfejsu. Ukoliko istražitelji imaju kredencijale korisnika Instagram naloga čiji su podaci ključni za istragu, mogu da ekstrahuju sve podatke sa tog naloga. U zavisnosti od potreba, kroz konfiguraciju se može odabrati koja vrsta podataka će biti ekstrahovana (objave, poruke, fotografije, lokacije i drugo). Takođe se može podesiti i vremenski period iz kog će se obaviti ekstrakcija podataka. Ukoliko istražitelji nemaju kredencijale korisničkog naloga od interesa pomoću ovih alata mogu da ekstrahuju i javne podatke iz oblak servera društvenih mreža.

4.2. Alati za digitalnu forenziku mobilnih uređaja

Postoji veliki broj alata koji se koriste za ekstrakciju podataka iz mobilnih uređaja. Vocab podaci mogu biti dostupni na samom mobilnom uređaju u aplikaciji, u starim lokalnim sigurnosnim kopijama ili u oblak servisima Gugla, Ajklauda ili Vocapa. Ukoliko je mobilni uređaj otključan i podaci sa Vocab aplikacije nisu obrisani, poruke se lako mogu ekstrahovati putem nekih od forenzičkih alata kao što je Oxygen Forensic Detective. Ekstrahovanjem lokalnih sigurnosnih kopija možemo videti i poruke koje su u međuvremenu izbrisane iz aplikacije. Za prikupljanje podataka sa Fesjbuk, Instagram i Vocab aplikacija na mobilnom uređaju se može koristiti alat Cellebrite UFED. Potrebno je povezati mobilni uređaj kablom, pokrenuti alat i izabrati redom opcije „Mobile Device“, „File System“ i „Qualcomm Live“. Zatim se bira lokacija za čuvanje fajla sa ekstrahovanim podacima i pokreće ekstrakcija. Za uspešnu ekstrakciju potrebno je ispratiti sva uputstva koja ovaj softver daje, kao što je aktiviranje opcija za developere, USB debugovanja i „Stay awake“ opcije, kao i isključivanje automatskog zaključavanja ekrana. Da bi se ekstrahovali podaci samo iz određenih mobilnih aplikacija bira se opcija „Selective File System“. Ona pruža spisak svih instaliranih aplikacija na mobilnom uređaju i omogućava da se pretraže i izaberu samo određene aplikacije, koje su relevantne za istragu. Kada se završi selekcija aplikacija Fejsbuka, Instagrama ili Vocapa, ekstrakcija se nastavlja klikom na opciju „Extract“.

U nastavku je dat primer ekstrakcije mobilnog uređaja sa iOS operativnim sistemom uz pomoć Cellebrite UFED alata koji koristi checkm8. Cellebrite UFED i checkm8 kombinuju alate zajedno i omogućavaju pristup mobilnom

uređaju i kada je oštećen, bez gubljenja vremena za popravku. Mobilni uređaj prvo treba povezati USB kablom za računar na kom je instaliran Cellebrite UFED. Kada se učita, potrebno je u alatu izabrati opciju „Mobile device“ i pretražiti tačan naziv modela povezanog uređaja. Zatim se bira opcija „Advanced Logical“, pa „Full File System (checkm8)“ i upisuje lokacija gde će biti ekstrahovan sadržaj povezanog mobilnog uređaja. Da bi sve bilo spremno za ekstrakciju, sledeći korak je prebacivanje uređaja na DFU mod i pokretanje ekstrakcije klikom na „Continue“. U toku procesa ekstrakcije prikazaće se prozor za upisivanje lozinke uređaja. Ukoliko lozinka nije poznata može se kliknuti na „Cancel“ i ekstrakcija će se svakako nastaviti, ali će biti ekstrahovani samo podaci koji nisu zaštićeni lozinkom.

Nakon uspešne ekstrakcije podataka sa mobilnih uređaja, pristupa se ključnim fazama forenzičke istrage, a to je pregledanje i analiza podataka. U ovim fazama, prikupljeni podaci se pažljivo ispituju i tumače kako bi se izdvojili relevantni podaci i došlo do zaključaka bitnih za istragu. Primer alata za pregledanje i analizu je UFED Physical Analyser. Sekcija „Home“ prikazuje podatke o uređaju sa koga su preuzeti podaci i neke opšte informacije o ekstrakciji, dok sekcija „Analyzed data“ sadrži detaljan prikaz ekstrahovanih podataka. Podaci su organizovani u stablu sa leve strane. Grupisani su u kategorije, radi lakšeg pregleda i pristupa, u kojima se nalaze specifični tipovi podataka izvučeni sa mobilnog uređaja. Sa desne strane se nalazi deo gde se može videti više detalja o izabranom podatku.

Još jedan koristan alat za analizu podataka ekstrahovanih sa mobilnih uređaja je Social Graph u alatu Oxygen Forensic Detective. Ovaj alat grafički prikazuje veze između različitih entiteta pronađenih na mobilnom uređaju, kao što su osobe, brojevi telefona, nalozi na društvenim mrežama i slično. Maltego je još jedan moćan alat koji se koristi u digitalnoj forenzici za vizuelizaciju i analizu podataka, otkrivanje veza i obrazaca u podacima i prikupljanje dokaza iz javno dostupnih izvora.

Za pregledanje i analizu podataka iz aplikacija koje koriste SQLite za skladištenje, što je tipično za Android uređaje, mogu se koristiti alati DB Browser for SQLite i SQLite Expert. Plist Editor Pro je alat sa naprednim funkcijama za analizu plist datoteka, koje se često koriste u iOS mobilnim aplikacijama.

4.3. Alati za digitalnu forenziku računara

Neki od najpoznatijih besplatnih alata otvorenog koda za prikupljanje i analizu podataka sa računara su The Sleuth Kit (TSK) i Autopsy. TSK je skup programa koji se pokreću iz komandne linije i omogućavaju detaljno ispitivanje slika diskova i fajl sistema. Autopsy je program sa grafičkim okruženjem koji olakšava korišćenje TSK alata, jer ne zahteva poznavanje korišćenja komandne linije.

DB Browser for SQLite je jedan od alata koji može da učita i omogući pregledanje i analizu podataka o pretraživanju iz veb pretraživača. Ovakvi podaci za Google Chrome veb pretraživač se nalaze na lokaciji C:\Users\<User Name>\AppData\Local\Google\Chrome\User Data\Default na Windows operativnom sistemu, ~/.config/google-chrome/Default na Linuks operativnom

sistemu i /Users/<User Name>/Library/Application Support/Google/Chrome/Default na Mek operativnom sistemu.

4.4. Alati za digitalnu forenziku računarskih mreža

Neki od alata koji se najčešće koriste u digitalnoj forenzici računarskih mreža su Wireshark, tcpdump i Network Miner. Wireshark je besplatan alat, otvorenog koda koji omogućava snimanje mrežnog saobraćaja sa računara ili mobilnog uređaja u realnom vremenu. Pored snimanja mrežnog saobraćaja u realnom vremenu moguće je i čitanje postojećih snimaka. U Wireshark-u se mogu pregledati datoteke u PCAP ili PCAPNG formatu prikupljene iz prethodnih arhiva. Wireshark ima filtere za izolovanje relevantnog saobraćaja, čime se može izolovati saobraćaj vezan za društvene mreže. Može se filtrirati tako da se prikaže samo saobraćaj ka određenim domenima ili sa određenim protokolima, HTTP ili HTTPS. Većina društvenih mreža koristi HTTPS za komunikaciju, pa se zbog toga ne može analizirati ceo sadržaj paketa. U ovim slučajevima, Wireshark može da otkrije samo neke metapodatke kao što su izvorna i odredišna IP adresa, vreme komunikacije, ali ne i tačan sadržaj komunikacije.

5. STUDIJA SLUČAJA

U ovom poglavlju obrađen je ceo proces forenzičke istrage slučaja prodaje ilegalnih supstanci preko Instagrama. Osumnjičeni je koristio Instagram nalog za prodaju narkotika, a kupci su ga kontaktirali putem privatnih poruka. Policija je dobila sudski nalog za pretres stvari osumnjičenog i preuzimanje podataka sa njegovog Instagram naloga od Meta Platforms Inc. Tokom faze identifikacije pronađen je Instagram nalog sa koga su vršeni dogovori za prodaju narkotika, kao i mobilni uređaj osumnjičenog. U fazi prikupljanja istražitelji su podneli inicijalni onlajn zahtev preko sistema za slanje onlajn zahteva kompanije Meta Platforms Inc. Pošto ovaj slučaj nije procenjen kao hitan, traženi podaci su dobijeni posle dužeg vremenskog perioda. U međuvremenu istražitelji su prikupili podatke sa mobilnog uređaja uz pomoć alata Cellebrite UFED. U fazi čuvanja napravljene su identične kopije prikupljenih podataka i podaci su uskladišteni na hard-disku koji se nalazi na sigurnom mestu sa ograničenim pristupom i kontrolisanom temperaturom i vlagom. Svakoј datoteci, kako originalnoj tako i kopiji, dodeljen je jedinstveni heš kod. Takođe je vođena detaljna dokumentacija o pristupu podacima. Tokom faza pregledanja i analize korišćeni su forenzički alati UFED Physical Analyser i Magnet AXIOM Examine. Kroz analizu podataka iz aplikacije Instagram sa mobilnog uređaja potvrđeno je da je osumnjičeni koristio svoj mobilni uređaj za pristup Instagram nalogu za prodaju narkotika. Analizom podataka dobijenih sudskim nalogom od Meta Platform Inc. su pronađene obrisane poruke koje svedoče o ilegalnoj prodaji narkotika. U fazi prezentacije su kreirani izveštaji korišćenjem pomenutih alata radi prezentovanja dokaza na sudu.

6. ZAKLJUČAK

Sa porastom upotrebe platformi poput Fejsbuka, Instagrama i Vocapa, ove mreže su postale plodno tlo za kriminalne aktivnosti. U ovom radu su detaljno opisane faze digitalne forenzike, specifičnosti i izazovi forenzičke istrage na društvenim mrežama. Navedene su brojne tehnike i alati koji doprinose uspešnom prikupljanju, pregledanju i analizi dokaza. Kroz studiju slučaja, prikazan je ceo proces forenzičke istrage od početka do kraja. Brz napredak tehnologije donosi nove izazove za digitalnu forenziku. Stalna pojava novih modela, operativnih sistema i metoda enkripcije čini zadatak forenzičara sve težim. Iako se forenzički alati konstantno razvijaju, ne mogu da drže korak sa najnovijim tehnologijama. Zaobilazanje sigurnosnih mehanizama i dekriptovanje podataka postaje sve komplikovanije, što može da oteža ili onemogući pristup potencijalnim dokazima. Uprkos izazovima koje donosi brz tehnološki razvoj, digitalna forenzika društvenih mreža ostaje ključna u borbi protiv sajber kriminala. Njen dalji razvoj biće omogućen kontinuiranim ulaganjem u usavršavanje i razvijanje novih forenzičkih alata i tehnika.

7. LITERATURA

- [1] <https://www.upguard.com/blog/digital-forensics> (pristupljeno u avgustu 2024.)
- [2] Brian Carrier, Research Scientist, Defining Digital Forensic Examination and Analysis Tools Using Abstraction Layers, International Journal of Digital Evidence, Winter 2003.
- [3] <https://explodingtopics.com/blog/top-social-media-platforms> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [4] <https://www.mpravde.gov.rs/tekst/12714/medjunarodna-pravna-pomoc-neposredna-komunikacija.php> (pristupljeno u novembru 2024.)
- [5] Jansen W, Ayers R. Guidelines on cell phone forensics. NIST Special Publication. 2007.
- [6] <https://www.apu.apus.edu/area-of-study/information-technology/resources/what-is-digital-forensics/> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [7] Jason Sachowski, Digital Forensics and Investigations, 2018

Kratka biografija:



Nikolina Gašić je rođena u Kikindi 1997. godine. Školske 2016/2017. godine je upisala osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Računarstvo i automatika, modul Primenjene računarske nauke i informatika. Diplomirala je 2020. godine i upisala master akademske studije na istom fakultetu, smer Računarstvo i automatika, modul Primenjene računarske nauke i informatika - Elektronsko poslovanje.

ИНТЕРНИ ЈЕЗИК ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ПРОЦЕСА РАЗВОЈА СИСТЕМА СА МИКРОСЕРВИСНОМ АРХИТЕКТУРОМ**INTERNAL LANGUAGE FOR OPTIMIZING DEVELOPMENT PROCESSES IN SYSTEMS WITH MICROSERVICE ARCHITECTURE**Лука Бјелица, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – Развој микросервиса трансформисао је начин на који се софтвер дизајнира, развија и распоређује, подстичући модуларност, скалабилност и независност компоненти крајњег система. Међутим, овај приступ доноси и изазове, посебно у контексту ефикасности, сложености и потребне количине ресурса за развој. У овом раду језици специфични за домен (ЈСД) [1] и генератори кода су представљени као решење за ове изазове, омогућавајући бржи развој прилагођен специфичним потребама пројекта.

Кључне речи: Микросервисна архитектура, Језици специфични за домен, Генератори кода

Abstract – The development of microservices has transformed the way software is designed, developed and deployed, encouraging modularity, scalability and independence of end-system components. However, this approach also brings challenges, especially in the context of efficiency, complexity and required amount of development resources. In this paper, domain-specific languages (DSLs) [1] and code generators are presented as a solution to these challenges, enabling faster development tailored to specific project needs.

Keywords: Microservice Architecture, Domain Specific Languages, Code Generators

1. УВОД

Микросервисна архитектура омогућава развој система у облику независних сервиса који комуницирају преко дефинисаних интерфејса [2], решавајући недостатке монолитне архитектуре као што су неефикасно скалирање и повећан ризик отказивања [3]. Предности укључују независно скалирање, поновно коришћење компоненти и смањени ризик системских кварова. Међутим, ова архитектура уводи сложености које захтевају значајне ресурсе за имплементацију и одржавање.

Језици специфични за домен (ЈСД), попут SQL [4], нуде виши ниво апстракције и аутоматизацију, што у контексту микросервиса олакшава развој и одржавање стандардизацијом и смањењем ручног рада.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Игор Дејановић, ред. проф.

Генератори кода [5] додатно аутоматизују развој, користећи шаблоне за креирање комуникационих интерфејса и других компоненти. Овај процес смањује ризик од грешака и поједностављује одржавање система, иако изазови настају код регенерације кода након мануелних измена, због могућих конфликта или губитка података [5].

2. ПРЕГЛЕД СТАЊА У ОБЛАСТИ

Постојеће алатке за развој софтвера углавном решавају техничке изазове микросервисне архитектуре [3], али не и сам процес развоја, што отвара простор за нове приступе који убрзавају итерације, адаптацију и имплементацију функционалности. Алатке за брз развој [6] омогућавају краће време од концепта до реализације, побољшавају скалабилност и смањују трошкове одржавања. Модуларна архитектура и виши ниво апстракције чине системе прилагодљивим и ефикасним у реаговању на промене у захтевима или технологијама. Важни фактори при избору алатке укључују њену флексибилност, подршку, документацију и могућност интеграције са другим системима, како би успешно одговарала специфичним потребама пројекта.

3. ДИЗАЈН РЕШЕЊА**3.1. Циљеви**

Циљ предложеног решења јесте да омогући флексибилан и брз начин за имплементацију софтверских решења вођених принципима микросервисне архитектуре, подстичући кориснике да развијају систем прилагођен тренутним потребама и ограничењима, уз праћење добрих пракси и софтверских образаца. Додатно, предложено решење олакшава дефинисање и одржавање комуникационих интерфејса између различитих модула, односно сервиса, осигуравајући конзистентност целокупног система.

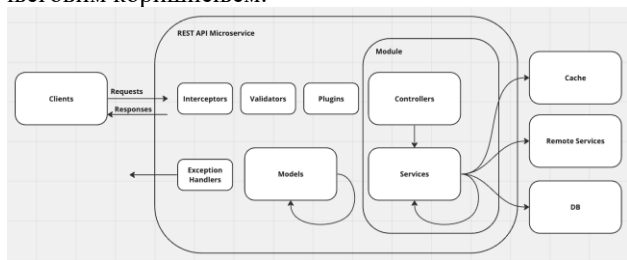
Предложено решење мора да испуни следеће захтеве:

1. Да буде разумљиво и ефикасно за коришћење програмеру
2. Да буде у што већој мери опште, односно да у што мањој мери буде везано за специфичну технологију или платформу

3. Да прикупи довољну количину података потребних за постизање жељеног нивоа аутоматизације
4. Да процес модуларизације, односно поделе решења на више мањих целина, буде брз и ефикасан
5. Да редукује ризик настанка грешака приликом повезивања различитих модула, односно делова система

3.2. Концепти

Илустрација 1 приказује концепте предложеног решења, постојеће концепте микросервисне архитектуре и ток извршавања система развијених његовим коришћењем.



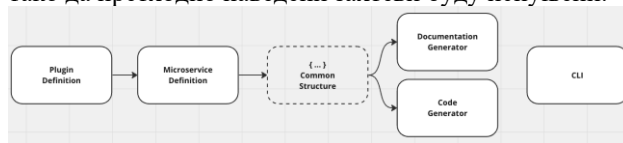
Слика 1. Концепти

Предложено решење уводи следеће концепте:

1. **Клијент:** Апликација која користи функционалности микросервиса путем API-а [7], обично преко HTTP [8] протокола.
2. **Пресретац захтева:** Компонента која обрађује захтеве пре или после обраде, користи се за аутентификацију, логовање, и примену безбедносних политика.
3. **Валидатор:** Проверава исправност и комплетност података у захтевима, смањује грешке током обраде и штити базу од невалидних података.
4. **Мапирање изузетака:** Управља грешкама током извршавања, логије детаље, обавештава системе за мониторинг и обезбеђује стабилност система.
5. **Додатак:** Компонента која се динамички додаје ради проширења или модификације функционалности, омогућава флексибилност и лакше ажурирање система.
6. **Модел:** Дефинише структуру и организацију података унутар система, укључујући базе података и екстерне системе.
7. **Модул:** Група компоненти (модел, сервис, контролер) која заједно обавља одређену функционалност у систему, омогућавајући бољу модуларност и скалабилност.
8. **Контролер:** Управља захтевима и одговорима, повезује клијента са пословном логиком и осигурава исправну обраду захтева.
9. **Сервис:** Независна функционална јединица која пружа одређене функционалности, комуницира с другим сервисима преко дефинисаних интерфејса, било локално или удаљено.

3.3. Архитектура

Архитектура предложеног система је дизајнирана тако да претходно наведени захтеви буду испуњени.



Слика 2. Архитектура

На Илустрација 2 приказана је архитектура предложеног система, са свим компонентама и везама између њих.

Системске компоненте се деле на компоненте за дефинисање и имплементацију решења, компоненте за аутоматизацију и компоненту за извршавање команди. Компонента за дефинисање и развој микросервиса представља улаз података у систем и омогућава прикупљање информација неопходних за функционисање крајњег решења и података. Компонента за развој података омогућава тимовима да имплементирају и дистрибуирају додатке, користећи јавне и приватне делове система, уз механизам за интеграцију током животног циклуса. Овај приступ подстиче заједнички развој и флексибилност решења.

Компонента за генерисање кода обавља аутоматизацију креирањем клијентског или серверског кода на основу заједничког језика, уз подршку за различите платформе и механизме за проширење. Проблем експоненцијалног раста броја генератора решава се увођењем заједничке структуре која омогућава превођење између платформи са минималним напором. Додатна аутоматизација обухвата генерисање документације на основу метаподатака. Компонента за извршавање команди омогућава интеракцију корисника са алатком, чинећи систем интуитивним и ефикасним за коришћење.

4. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА

4.1. Технологије

Предложено решење, у које спадају радни оквир, интерфејс командне линије и генератори кода, имплементирани су у JavaScript [9] програмском језику. Поред тога, коришћене су и следеће технологије: TypeScript [14], Webpack [10], Nunjucks [11], и PEG.js [12]. TypeScript је језик чија граматика представља надскуп JavaScript граматике, с циљем да омогући експлицитно дефинисање типова и интерфејса. Webpack је алатка којом се дефинисани пројекат у JavaScript језику пакује у један или више излазних датотека које зовемо пакет. Nunjucks је алатка која представља обрађивач шаблона, и коришћењем његовог уграђеног ЈСД-а могуће је генерисати динамичан садржај, у различитим окружењима. PEG.js је JavaScript библиотека за генерисање парсера, која омогућава дефинисање сложених граматика помоћу PEG нотације [1].

Коришћење Webpack-а омогућило је покретање оквира у било ком окружењу, док се CLI и генератор кода користе у терминалу током развоја. Nunjucks је

олакшао имплементацију и одржавање генератора, а PEG.js побољшао контролу над генерисањем кода са корисничким изменама.

4.2. Заједнички језик

Заједнички језик је имплементиран као интерни ЈСД унутар JSON [13] нотације. Знајући да се предложено решење користи углавном у контексту веб апликација, парсирање и серијализација су аутоматски подржани. Садржи два коренска поља, односно да складишти дефиниције сервиса и дефиниције модела. Сервиси се складиште као листа, док су типови ускладиштени као мапа која садржи парове кључ (назив модела) и вредност (дефиниција модела).

Дефиниција сервиса је сачињена од назива, коренске путање, и листе сервисних акција, док је дефиниција модела такође мапа која садржи дефиниције поља са паровима кључ (назив поља) и вредност (тип поља).

Дефиниција сервисне акције садржи HTTP методу, назив акције, путању, листу параметара које очекује, као и дефиницију или референцу на тип, односно модел резултата који враћа.

Дефиниција параметра садржи његов назив, дефиницију или референцу на тип односно модел, и извор одакле параметар долази (путања, секција за упит у путањи или тело захтева).

4.3. Дефинисање микросервиса

За исправан рад предложеног решења, корисник мора приложити довољно података за формирање структуре микросервиса у формату заједничког језика. Понашање контролера дефинише се као JavaScript класа, користећи механизме тог језика и подсистем за руковање зависностима. Структура интерфејса, која може бити екстерна (према клијентима) или интерна (унутар система), дефинише се механизмима предложеног решења заснованим на TypeScript декораторима, уз преклапања попут типова повратних вредности и параметара акција, што обезбеђује усклађеност између интерних и екстерних интерфејса.

4.4. Разрешавање графа зависности

Подсистем за руковање зависностима у предложеном решењу обухвата механизме за дефинисање и разрешавање графа зависности, укључујући и подршку за цикличне зависности. Проблем цикличних зависности, где компоненте међусобно зависе једна од друге, решава се аутоматски, користећи механизам референци. Овај процес се одвија у две фазе: у првој фази креирају се празне инстанце са референцама уместо стварних зависности, а у другој фази референце се замењују конкретним инстанцама, чиме се разрешавају све зависности у графу. Овим приступом се уклања одговорност са корисника, за разлику од других алатки које пријављују грешку при детекцији цикличних зависности и очекују од корисника да прилагоди систем [15].

Пошто JavaScript не подржава механизам референци, предложено решење ослања се на Proxy API за симулацију референци. Овај приступ обезбеђује флексибилност и ефикасност у раду са сложеним графовима зависности, укључујући и оне са цикличним везама. У случајевима сложенијих графова зависности, примењује се стратегија "подели и завладај" како би се проблем рашчланио на мање, лакше решиве делове. Ово чини предложено решење скалабилним и прилагођеним за комплексне системе [15].

4.5. Руковање додацима

Руковање додацима у предложеном решењу обухвата дефинисање, дистрибуцију и интеграцију, са фокусом на минимизирање напора за одржавање подсистема. За дистрибуцију се користи NPM [16], који је добро познат развојним тимовима и олакшава процес изградње и постављања пакета. Додатно, користи се семантичко верзионисање за праћење верзија, док JSON формат дефинише метаподатке пакета, укључујући назив, верзију и зависности, што обезбеђује транспарентност и лако управљање додацима.

Имплементација додатака ослања се на циљану технологију и дефинисани интерфејс који омогућава интеракцију са свим компонентама система током различитих фаза животног циклуса. Овај приступ пружа флексибилност и омогућава додацима да прошире функционалност система, док NPM инфраструктура и флексибилан интерфејс доприносе скалабилности и једноставнијој интеграцији нових функционалности у систем [16].

4.6. Генератор кода

Генератор кода у предложеном решењу омогућава аутоматизацију кроз генерисање кода на основу метаподатака који делују као заједнички језик, користећи механизам шаблонирања заснован на JavaScript библиотеци Nunjucks. Наведени приступ подржава поновну искористивост функционалности, јер се специфичности циљане технологије или платформе дефинишу у шаблону, користећи исте податке које генератор пружа. Шаблони се ослањају на Nunjucks синтаксу и организовани су у секције попут увоза зависности и дефиниције контролера, а подаци за шаблонирање се обрађују од стране генератора. Тренутно решење подржава генерисање клијентског кода за JavaScript, TypeScript и C# [17], док за серверски код подржава JavaScript и TypeScript.

Пројектна структура генератора организована је модуларно, где свака циљана технологија представља засебан модул који дефинише и имплементира шаблоне за генерисање кода. Оваква организација омогућава независност модула и поновну искористивост, док увођење подршке за нову технологију захтева креирање новог модула и имплементацију одговарајућих шаблона. Уколико је потребно, могу се имплементирати потпуно нови механизми, уз услов да се модул уклопи у очекивани интерфејс и региструје у решењу. Овај приступ

подржава развој прилагођених генератора и проширење решења са новим технологијама [17].

5. ГЕНЕРИСАЊЕ КОДА НАД ПОСТОЈЕЋИМ

Проблем одржавања баланса између аутоматски генерисаног кода и кориснички прилагођеног дела решен је имплементацијом PEG парсера, који омогућава очување корисничког кода приликом поновног генерисања. Овај приступ није везан за механизме специфичне технологије и не пребацује одговорност на корисника, већ користи PEG.js библиотеку за препознавање и екстракцију секција у којима се налази кориснички код, као што су тела метода у класи контролера или сервиса. Парсер је имплементиран за TypeScript и JavaScript језике, са фокусом на очување текста секција у оригиналном облику, што минимизује сложеност и ресурсе потребне за имплементацију и одржавање.

Додатне технологије могу се подржати креирањем нових парсера, што додатно умањује неопходан труд. На овај начин, предложено решење задовољава захтеве ефикасности и независности од специфичних технологија, док истовремено омогућава корисницима интуитиван начин за интеграцију прилагођеног кода у процес аутоматизације, без нарушавања функционалности или очекивања [17].

6. ЗАКЉУЧАК

Предложено решење је алат за брзи развој система базираних на микросервисној архитектури, са циљем оптимизације процеса развоја и прилагођавања развојним тимовима. Његова срж је интерни ЈСД који омогућава лакшу дефиницију интерфејса и структуре микросервиса, чиме се одређени степен аутоматизације, као што су генерисање кода и документације. Решење такође укључује механизам за додавање и управљање додацима, чиме се омогућава проширење функционалности на интуитиван начин.

Иако је флексибилно, тренутно подржава само три технологије, што ограничава његову примену као општег решења за оптимизацију процеса развоја. Ово представља изазов за тимове који користе више различитих технологија. Значајна предност је интуитиван начин очувања корисничког кода чак и након поновног генерисања, што смањује одговорност корисника и минимизује ресурсе потребне за одржавање.

Даљи развој усмерен је на унапређење општости и поузданости решења кроз подршку за више технологија и развој додатака у оквиру отвореног кода. Увођење сложенијих тестова и преписивање генератора документације као додатка помогло би у смањењу грешака и побољшању система, чиме би се приближило циљу да постане опште и поуздано решење за развој микросервисних система.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] I. Dejanović, Jezici specifični za domen, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2021.
- [2] J. Thönes, „Microservices,“ IEEE Software, т. 32, pp. 116-116, 2015.

- [3] O. a. M. P. Al-Debagy, „A comparative review of microservices and monolithic architectures,“ IEEE, 2018.
- [4] C. Fehily, SQL, CET, 2005.
- [5] S. K. a. J.-P. Tolvanen, Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation, Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2008.
- [6] V. Silverthorne, „Rapid Application Development (RAD),“ TechTarget, April 2019. Доступно: <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/rapid-application-development>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [7] K. Lane, „Intro to APIs: History of APIs,“ Postman, 10 October 2019. Доступно: <https://blog.postman.com/intro-to-apis-history-of-apis/>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [8] J. G. J. M. H. F. L. M. P. L. T. B.-L. R. Fielding, „Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1,“ W3C/MIT, June 1999. Доступно: <https://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [9] M. F. K. G. Shu-yu Guo, „ECMAScript Language Specification,“ June 2024. Доступно: <https://tc39.es/ecma262/>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [10] P. C. Eugene Hlushko, „Webpack,“ 2024. Доступно: <https://webpack.js.org/>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [11] Mozilla, „Nunjucks,“ 2024. Доступно: <https://mozilla.github.io/nunjucks/>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [12] D. Majda, „PEG.js,“ 2019. Доступно: <https://github.com/pegjs/pegjs>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [13] Ecma International, „ECMA-404 The JSON Data Interchange Syntax,“ December 2017. Доступно: https://ecma-international.org/wp-content/uploads/ECMA-404_2nd_edition_december_2017.pdf. [Последњи приступ Јун 2024].
- [14] Microsoft, „TypeScript,“ 2024. Доступно: <https://www.typescriptlang.org/>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [15] Mozilla, „Proxy API JavaScript,“ MDN Web Docs, 2024. Доступно: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Proxy. [Последњи приступ Јун 2024].
- [16] I. Z. Schlueter, „Node Package Manager,“ January 2010. Доступно: <https://www.npmjs.com/>. [Последњи приступ Јун 2024].
- [17] M. J. Price, C# 7.1 i .NET Core 2.0, Packt, 2018.

Кратка биографија:



Лука Бјелица рођен је у Зрењанину 1999. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства – Софтверско инжењерство и информационе технологије одбранио је 2024. год.

контакт: bjelicaluka99@gmail.com

PRIMENA RANDOM FOREST ALGORTIMA U PROGNOZI BRZINE VETRA I PROFITA VETROGENERATORA**APPLICATION OF THE RANDOM FOREST ALGORITHM IN PREDICTING WIND SPEED AND WIND FARM PROFIT**

Nataša Gavrilović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je sistem za predikciju brzine vetra i profita vetrogeneratora korišćenjem tehnologija integracije aplikacija, uz primenu mašinskog učenja. Sistem koristi podatke o brzini vetra i proizvedenoj energiji kako bi precizno procenio budući profit vetroparkova. Implementacija uključuje metode za prikupljanje podataka, njihovu analizu i primenu Random forest algoritma, omogućavajući korisnicima da predvide efikasnost proizvodnje. Rad doprinosi razvoju inovativnih rešenja za praćenje i procenu obnovljivih resursa, čime se olakšava prelazak na održiviju energetska budućnost.

Ključne reči: Mašinsko učenje, Random Forest algoritam, Analiza podataka, Predikcija brzine vetra i profita

Abstract – This paper presents a system for predicting the wind speed and profit of wind turbines using integration technologies, along with the applications of machine learning. The system utilizes data on wind speed and energy production to accurately estimate future profit of wind farms. The implementation includes methods of data collection, analysis, and the use of random forest algorithm, enabling users to forecast production efficiency. The paper contributes to the development of innovative solutions for monitoring and assessing renewable resources, facilitating the transition to a more sustainable energy future

Keywords: Machine Learning, Random Forest algorithm, Data Analysis, Wind speed and profit prediction

1. UVOD

Uzeći u obzir sve veći značaj obnovljivih izvora energije u savremenom svetu, naročito vetroenergije, potreba za optimizacijom proizvodnje i upravljanjem vetroparkovima postaje ključna za postizanje energetske efikasnosti i održivosti. Vetrogeneratori predstavljaju važan izvor čiste energije, ali njihova profitabilnost zavisi od niza faktora. Ovaj rad se bavi razvojem naprednog sistema za predikciju brzine vetra i profita vetrogeneratora, koristeći tehnologije integracije uz primenu algoritma mašinskog učenja.

Glavni cilj rada je izgradnja sistema koji može prikupljati podatke o brzini vetra, proizvodnji energije i drugim relevantnim parametrima, analizirati ih i koristiti za predikciju brzine vetra i budućeg profita vetroparkova. Pored algoritma za predikciju, rad se bavi i izazovima u prikupljanju i obradi podataka sa različitih izvora, integraciji podataka između različitih aplikacija i implementaciji rešenja koje je prilagodljivo i lako skalabilno.

2. TEORIJSKE OSNOVE I DEFINICIJE

U ovom poglavlju biće predstavljene teorijske osnove i definicije najbitnijih koncepata i tehnologija koje su korišćene u izradi sistema za predikciju profita vetrogeneratora. Ovo uključuje osnovne principe obnovljivih izvora energije, mašinskog učenja kao i integraciju između različitih softverskih komponenti.

2.1. Obnovljivi izvori energije i vetrogeneratori

Obnovljivi izvori zauzimaju sve važnije mesto u savremenom društvu, jer pružaju mogućnost proizvodnje energije bez štetnog uticaja na životnu sredinu. Među njima, energija vetra se ističe kao jedan od najperspektivnijih i ekološki najprihvatljivijih izvora, jer ne proizvodi emisije štetnih gasova niti zagađuje okolinu. Vetro turbine, koje koriste kinetičku energiju vetra za generisanje električne energije, predstavljaju ključnu tehnologiju u prelazu sa fosilnih goriva na čiste izvore energije. Ova tehnologija ne samo ga smanjuje zavisnost od fosilnih goriva, već doprinosi i energetske sigurnosti i održivosti. Vetro turbine funkcionišu na osnovu jednostavnog, ali efektivnog principa. One pretvaraju kinetičku energiju vetra u mehaničku energiju, a zatim u električnu energiju. Kada vetar duva kroz elise vetro turbine, one se okreću i pokreću rotor, deo vetro turbine koji sakuplja energiju vetra. Rotor je povezan sa glavnim vratilom, koje prenose rotaciono kretanje na generator. Generator potom pretvara ovu mehaničku energiju u električnu energiju, koja se može koristiti za napajanje domova, fabrika i drugih potrošača. Jedan od ključnih aspekata koji utiče na efikasnost proizvodnje energije vetro turbine je brzina i stabilnost vetra. Projektovane su da optimalno rade unutar specifičnih opsega brzina vetra. U uslovima slabog vetra, produktivnost vetroelektrana može biti smanjena, dok se u slovima jakih vetrova njihova proizvodnja drastično povećava. Osim tehničkih prednosti, energija vetra donosi

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Bošković, docent

i ekonomske koristi. Sa smanjenjem troškova tehnologije i povećanjem kapaciteta proizvodnje, vetroelektrane postaju sve konkurentnije u poređenju sa tradicionalnim izvorima energije. Međutim, osiguranje stabilne i predvidive proizvodnje energije iz vetra zahteva strateško planiranje i integraciju sa drugim izvorima energije u mreži. Energija vetra se pokazuje kao ključni deo budućeg energetskog sistema. Njena sposobnost da doprinese smanjenju zavisnosti od fosilnih goriva, poboljšanju energetske sigurnosti i smanjenju emisija stakleničkih gasova čini je neizostavnim resurskom u borbi protiv klimatskih promena. Uzeći u obzir sve veći fokus na obnovljive izvore energije, energija vetra će nastaviti da igra centralnu ulogu u globalnoj tranziciji ka održivijem i čistijem energetskom sistemu [1].

2.2. Mašinsko učenje i Random forest algoritam

Mašinsko učenje trenutno predstavlja dominantnu formu veštačke inteligencije. Algoritmi mašinskog učenja su osnova širokog spektra aplikacija koje imaju stvarni uticaj na pojedince, kompanije i vlade. Jedan od ključnih izazova u razvoju sistema zasnovanih na mašinskom učenju je osigurati da tehnički napredna rešenja imaju pozitivan društveni uticaj [2]. Random forest algoritam je metoda statičkog učenja koja se koristi u mnogim oblastima primene, ne samo zbog odličnih performansi u predviđanju, već i zbog svoje fleksibilnosti, uz nekoliko ograničenja u pogledu prirode podataka. Prilagođen je i za nadzirane probleme klasifikacije i za probleme regresije. Omogućava razmatranje kvalitativnih i kvantitativnih objašnjavajućih varijabli zajedno, bez potrebe za prethodnom obradom. Takođe, mogu se koristiti za obradu standardnih podataka kod kojih je broj posmatranja veći od broja varijabli, a veoma je efikasan i u slučaju visoke dimenzionalnosti, kada je broj varijabli znatno veći u odnosu na broj posmatranja. Kao rezultat toga, danas su među preferiranim metodama u alatu statističara i drugih naučnika koji rade sa podacima [3].

2.3. Prikupljanje i analiza podataka

Efikasno predviđanje profita vetrogeneratora zahteva prikupljanje preciznih podataka o brzini vetra, vremenskim uslovima i trenutnoj proizvodnji električne energije. U okviru sistema razvijenog u ovom radu, podaci se prikupljanju za praćenje vremenskih uslova, te se potom obrađuju kako bi se predvidela proizvodnja energije. Nakon prikupljanja, ovi podaci prolaze kroz proces obrade kako bi se identifikovale promene u vremenskim obrascima koje mogu uticati na proizvodnju energije. Prikupljeni podaci o vremenskim uslovima, koriste se za predikciju količine energije koja će biti proizvedena u budućem vremenu, što je ključno za predviđanje profita vetrogeneratora.

Proizvodnja električne energije vetrogeneratora direktno zavisi od brzine vetra. Međutim, kako bi se tačno izračunala količina proizvedene energije, koristi se formula koja uzima u obzir nekoliko ključnih parametara: minimalnu brzinu vetra za pokretanje vetrogeneratora V_{min} , brzinu na kojoj generator radi sa punim kapacitetom V_{full} i maksimalnu brzinu vetra nakon koje generator prestaje sa radom V_{max} . Parametar P_n predstavlja nominalnu snagu generatora, tj. maksimalnu količinu energije koju može proizvesti pod idealnim uslovima. Kada se razmatra snaga vetrogeneratora, uzimaju se u obzir

različite brzine vetra i prilagođeni režimi rada kako bi se obezbedila stabilna i bezbedna proizvodnja energije. Formula za izračunavanje snage vetrogeneratora izgleda ovako:

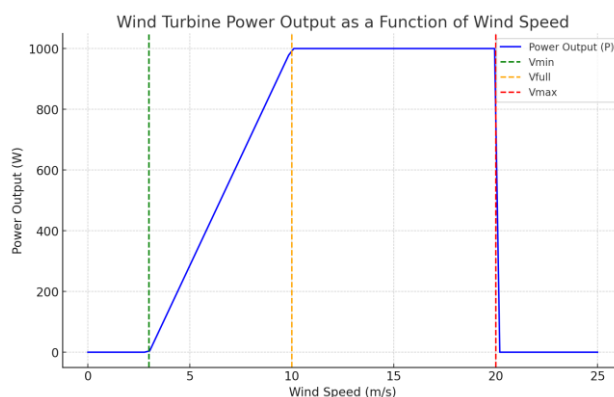
- Ako je brzina vetra manja od V_{min} , vetrogenerator ne proizvodi energiju jer je brzina vetra nedovoljna za pokretanje elisa. Proizvedena snaga je nula.
- Ako je brzina vetra između V_{min} i V_{full} , u ovom opsegu brzine vetra, snaga vetrogeneratora se postepeno povećava u skladu sa rastom brzine vetra. Formula za izračunavanje snage glasi:

$$P = \frac{(V - V_{min})}{(V_{full} - V_{min})} \times P_n$$

gde su P proizvedena snaga pri brzini vetra, V je trenutna brzina vetra, V_{min} minimalna brzina vetra potrebna za pokretanje vetrogeneratora, V_{full} brzina vetra pri kojoj vetrogenerator dostiže pun kapacitet i P_n nominalna snaga vetrogeneratora. Ova formula omogućava linearan rast snage sa povećanjem brzine vetra, dok se ne dostigne maksimalni kapacitet vetrogeneratora.

- Ako je brzina vetra između V_{full} i V_{max} , generator radi sa punim kapacitetom, odnosno proizvodi maksimalnu moguću snagu P_n bez obzira na dodatno povećanje brzine vetra.
- Ako je brzina vetra veća od V_{max} , vetrogenerator se automatski isključuje kako bi se izbegla potencijalna oštećenja zbog prejakih vetrova. U ovom slučaju, proizvedena snaga je ponovo nula.

Ova formula omogućava tačno izračunavanje proizvedene snage vetrogeneratora na osnovu promena brzine vetra.



Slika 1. Zavisnost snage vetrogeneratora od brzine vetra

Prikupljeni podaci o proizvodnji energije se koriste kao ulaz u model, koji predviđa budući profit vetrogeneratora. Model uzima u obzir istorijske podatke o proizvodnji, promene u vremenskim uslovima i predviđene cene energije na tržištu kako bi se procenio očekivani profit u različitim scenarijima. Predikcioni model time pomaže u planiranju i donošenju odluka o daljim investicijama, optimizaciji rada vetrogeneratora i izračunavanje potencijalnih ušteda ili dobiti.

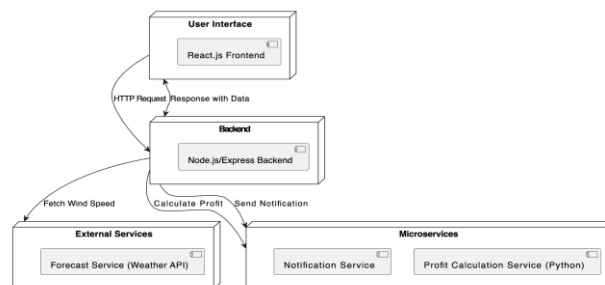
3. ARHITEKTURA SISTEMA

Arhitektura sistema za predikciju profita vetroparkova zasnovana je na integraciji između *Node.js* i *Python*

aplikacija, što omogućava efikasno prikupljanje podataka, analizu i predikciju profita. Sistem je dizajniran kao modularana i skalabilna arhitektura koja omogućava laku integraciju novih komponenti i funkcionalnosti. Glavne komponente sistema su:

1. Servis za prikupljanje i obradu podataka: Ovaj servis je odgovoran za prikupljanje podataka o brzini vetra i trenutnoj proizvodnji energije. Aplikacija se povezuje sa bazom podataka i čuva sve dobijene podatke za dalju obradu. Uz to, implementirana je funkcija za izračunavanje trenutne proizvedene snage koristeći formulu koja uzima u obzir brzinu vetra i karakteristike generatora, kao što su minimalna, puna i maksimalna brzina rada.
2. Servis za predikciju profita: Servis je implementiran kao *Python* aplikacija koja koristi algoritme mašinskog učenja. On funkcioniše kao ključni deo sistema za predviđanje budućih prihoda vetrogeneratora. Koristeći model zasnovan na Random Forest algoritmu, servis vrši predikciju profita na osnovu podataka o brzini vetra, trenutno proizvedenoj energiji i drugih parametara koji utiču na rad vetrogeneratora. Kada glavni servis prikupi podatke, kao što su brzina vetra i trenutno proizvedena energija, on ih prosleđuje servisu za predikciju putem HTTP zahteva. Ovi podaci se unose u model mašinskog učenja, koji je prethodno obučen na velikom skupu istorijskih podataka o vremenskim uslovima, brzinama vetra i prihodima, čime se obezbeđuje visoka tačnost predikcija. Model kontinuirano uči iz novih podataka, omogućavajući adaptaciju na promene u vremenskim obrascima. Algoritam Random Forest analizira različite faktore koji utiču na promene u brzinama vetra i generisanu energiju u različitim vremenskim periodima i, na osnovu tog odnosa, predviđa očekivani prihod u budućnosti. Kada servis završi obradu, povratne informacije o predviđenom profitu šalju se nazad glavnom servisu, gde se podaci automatski skladište i prikazuju korisnicima u interfejsu.
3. Baza podataka: Sistem koristi *NoSql* bazu podataka *MongoDB* za skladištenje podataka o vetroparkovima, uključujući informacije o njihovoj lokaciji, tipu generatora, trenutnoj i ukupnoj proizvedenoj snazi, kao i istoriju profita. Svaki podatak o vetroparku povezan je sa korisnikom koji upravlja tim sistemom, čime omogućava lako upravljanje podacima na nivou korisnika.
4. Interfejs za upravljanje i analizu podataka: Korisnički interfejs omogućava operaterima da u realnom vremenu prate stanje svojih vetroparkova, brzinu vetra i proizvodnju energije, kao i da dobiju predikciju profita. Interfejs je implementiran kao *React* aplikacija koja komunicira sa glavnim servisom preko HTTP API zahteva. Korisnici mogu da biraju određeni vetropark na mapi i zatraže predikciju profita za određen vremenski period, nakon čega se rezultati prikazuju direktno u aplikaciji.

5. Servis za slanje notifikacija: Ovaj servis je zadužen za automatsko obaveštavanje korisnika o važnim događajima i promenama na vetroparkovima. Kada se registruje novi korisnik ili kada dođe do značajnih promena u podacima u brzini vetra ili proizvedenoj energiji, sistem šalje notifikaciju putem email-a koristeći *SendGrid*. Glavna aplikacija šalje poruke preko *RabbitMQ* servera, koji upravlja redovima i obezbeđuje pouzdanu i asinhronu isporuku obaveštenja.



Slika 2. Arhitektura sistema za predikciju profita

4. PREDIKCIJA PROFITA I RANDOM FOREST ALGORITAM

Servis za predikciju profita predstavlja važan deo sistema za optimizaciju rada vetrogeneratora i upravljanje vetroparkovima. Server koristi napredne tehnike mašinskog učenja, posebno algoritam Random Forest, kako bi omogućio precizno predviđanje budućih prihoda vetroparkova na osnovu istorijskih podataka o brzini vetra i ostvarenim profitima. Implementacija servisa realizovana je kao odvojena Python aplikacija. Model analizira složene odnose između brzine vetra i ostvarenih prihoda, omogućavajući izradu predikcija zasnovanih na više faktora. Ulazni podaci koje servis zahteva uključuju *wind_speed_data*, niz podataka o istorijskim brzinama vetra koji su prikupljeni tokom određenog perioda, i *actual_profits*, niz stvarnih podataka o profitima koji su ostvareni u istom vremenskom periodu kao i brzine vetra. Izlazni podaci predstavljaju *predicted_profit*, niz predviđenih profita koji se izračunavaju na osnovu podataka o brzini vetra primenom Random Forest algoritma. On funkcioniše tako što koristi veliki broj pojedinačnih stabala odluke i kombinuje njihove rezultate kako bi postigao stabilniju i precizniju predikciju. Svako stablo se trenira na slučajnom podskupu podataka, čime se model bolje prilagođava složenim i nelinearnim obrascima u podacima. Na osnovu prošlih podataka o brzini vetra i profitima, Random Forest model procenjuje uticaj različitih varijabli na profit, omogućavajući efikasne predikcije budućih prihoda. Ovaj pristup omogućava modelu da, na osnovu prethodnih podataka, precizno proceni kako se promena brzine vetra odražava na promenu u profitu. On koristi ansambl stablo odluka gde svako stablo pravi svoje procene, a krajnja predikcija nastaje kombinacijom predikcija svih stabala.

5. IMPLEMENTACIJA RANDOM FOREST

Implementacija funkcije za predikciju koristi biblioteke za mašinsko učenje iz *Python* okruženja, kao što su *numpy* i *scikit-learn*, specijalizovane za rad sa podacima i modele mašinskog učenja. Funkcija prolazi kroz nekoliko koraka. Prvi korak je učitavanje i priprema podataka kroz funkciju

`load_and_prepare_data`, koji učitava CSV fajlove za 2022, 2023 i 2024 godinu, koji sadrže informacije o vremenskim parametrima kao što su prosečna, minimalna i maksimalna temperatura, pravac vetra, brzina vetra, pritisak i druge varijable. Potom filtrira nulte vrednosti i interpolira nedostajuće podatke. Zatim se podaci transformišu u odgovarajući format za treniranje modela, zadržavajući samo relevantne vremenske parametre. Sledeći korak je treniranje Random Forest modela, koje se odvija u funkciji `train_random_forest_model`. Da bi se pronašli optimalni hiperparametri, koristi se `GridSearchCV`, koji pretraćuje kroz napred definisani skup parametara, uključujući broj stabala `n_estimators`, maksimalnu dubinu `max_depth` i druge.

```
X = data[['tavg', 'tmin', 'tmax', 'wdir']]
y = data['wspd']

param_grid = {
    'n_estimators': [100, 200],
    'max_depth': [10, 20]}

rf_model = RandomForestRegressor(random_state=42)

grid_search = GridSearchCV(
    estimator=rf_model,
    param_grid=param_grid,
    cv=3,
    scoring='neg_mean_squared_error',
    n_jobs=-1)

grid_search.fit(X, y)

best_model = grid_search.best_estimator_
```

Listing 1. Kod treniranja Random Forest modela u Python-u

Kada je model testiran na parametrima maksimalna dubina 15, maksimalne karakteristike `sqrt`, minimalni broj uzoraka u listu 1, minimalni broj uzoraka za podelu 2 i broj stabala 200, postigao je *Mean Squared Error* (MSE) 1.1600050874260937 i *Mean Score* od 0.9740540595776065 što ukazuje na visoku tačnost modela. *Mean Score* modela odražava koliko dobro model objašnjava varijaciju u podacima, dok MSE pokazuje prosečnu kvadratnu grešku između predikcija i stvarnih vrednosti. Nakon što je model treniran i optimizovan, sledeći korak je predikcija buduće brzine vetra. Funkcija `predict_future_wind_speed` kreira vremensku seriju budućih datuma između `start_date` i `end_date` i zatim popunjava podatke korišćenjem poslednjeg poznatog reda iz `all_data`, što simulira buduće vremenske uslove. Random forest model koristi ove podatke za predikciju buduće brzine vetra za svaki dan u zadatom vremenskom periodu. Ova funkcionalnost omogućava da se na osnovu prethodnih vremenskih parametara predvidi kako će se brzina vetra menjati, što je ključna informacija za izračunavanje potencijalnog profita vetrogeneratora.

Za kraj, API omogućava korisnicima da postave zahteve za predikciju buduće brzine vetra, kao i profita korišćenjem ovog modela. Kada korisnik pošalje POST zahtev sa početnim i krajnjim datumom, API koristi `predict_future_wind_speed` za kreiranje predikcija i vraća

rezultate u JSON formatu. Sa visokim Mean Score-om od 0.974, model pokazuje visok nivo preciznosti, što potvrđuje njegovu pouzdanost u predikciji brzine vetra i budućih prihoda vetroparkova.

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad osvetljava značaj razvoja sistema za predikciju brzine vetra i profita vetrogeneratora kao ključni korak ka unapređenju energetske efikasnosti i ekonomičnosti obnovljivih izvora energije. Kroz integraciju tehnologija mašinskog učenja, prikupljanja podataka i interfejsa za upravljanje, omogućeno je preciznije planiranje proizvodnje i efikasnija alokacija resursa u vetroparkovima. Jedan od glavnih doprinosa sistema razvijenog u ovom radu jeste njegova sposobnost da koristi istorijske podatke o brzini vetra i energetskoj proizvodnji za preciznu predikciju profita. Sistem nudi fleksibilnost i modularnu arhitekturu, što olakšava buduće nadogradnje i proširenja. Integracija između aplikacija pokazala je kako različite tehnologije mogu efikasno da sarađuju kako bi se obezbedila preciznost i pouzdanost sistema. Rezultati predikcija profita dobijeni primenom Random forest algoritma ukazuju na mogućnost korišćenja algoritama mašinskog učenja u realnim poslovnim procesima. Rad potvrđuje da je razvoj sistema za predikciju profita važan korak ka efikasnijem korišćenju obnovljivih izvora energije, smanjenju troškova i unapređenju održivosti, čime doprinosi globalnim naporima u borbi protiv klimatskih promena i prelasku na čistu energiju.

7. LITERATURA

- [1] Wei tong, "Fundamentals of Wind Energy", *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, Vol 44, 2010.
- [2] Fuwei Li, Lifeng Lai, Shuguang Cui, "Machine Learning Algorithms", 2022
- [3] Robin Genuer, Jean-Michel Poggi, "Random Forests with R", Springer Nature Switzerland, 2020.

Kratka biografija:



Nataša Gavrilović rođena je 8. novembra 1999. godine u Zrenjaninu. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, studentski program Primenjeno softversko inženjerstvo upisala je 2018. godine. Nakon završenih osnovnih studija, 2023. godine upisala je master akademske studije iz iste oblasti.
Kontakt:
gavrilovicnataša123@gmail.com

MODELIRANJE I UPRAVLJANJE SISTEMOM SA INVERZNIM KLATNOM NA KOLICIMA

MODELING AND CONTROL OF A CART WITH INVERTED PENDULUM

Žofia Galac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U okviru ovog rada je obrađen sistem sa inverznim klatnom na kolicima. Izvršeno je modelovanje sistema i dobijeni su nelinearni i linearizovan model. Ispitivane su dve tehnike upravljanja: PID regulator i linearizacija u povratnoj sprezi (feedback linearizacija). Izvršena je simulacija rada ovakvih sistema i analizirane su prednosti i nedostaci predloženih tehnika.

Ključne reči: Inverzna klatna na kolicima, Linearni model, Nelinearni model, PID regulator, Feedback linearizacija

Abstract – As part of this work, a system with an inverted pendulum on a cart was studied. The system was modeled, resulting in both nonlinear and linearized models. Two control techniques were examined: PID control and feedback linearization. Simulations of such systems were carried out, and the advantages and disadvantages of the control techniques were analyzed.

Keywords: Inverted pendulum on a cart, Linear model, Nonlinear model, PID controller, Feedback linearization

1. UVOD

Modelovanje omogućava da složeni realni sistemi budu predstavljeni na pojednostavljen način i ima ključnu ulogu u pribavljanju informacija o ponašanju sistema bez stvarnog eksperimentisanja u realnom vremenu. Simulacijama nad modelom možemo optimizovati stvarni model, istražiti najbolje parametre, strategije, mogu da se posmatraju uticaji različitih regulatora i kontrolnih tehnika. Eksperimentisanje na modelu je znatno bezbednije, izvodljivije, brže i jeftinije u poređenju sa eksperimentisanjem na stvarnom sistemu [1].

Motivacija za ovaj rad bilo je ispitivanje razlika između linearizovanog i nelinearnog modela inverznog klatna na kolicima pri primeni upravljanja na nivou simulacija. U tu svrhu, u okviru rada biće analizirana efikasnost upravljanja pomoću PID regulatora linearnim i nelinearnim modelom sa ciljem da se klatno vrati u gornji vertikalni položaj. Takođe, biće ispitana mogućnost primene linearizacije u povratnoj sprezi (koju ćemo u nastavku zvat i prema engleskom nazivu, feedback linearizacija).

NAPOMENA:

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

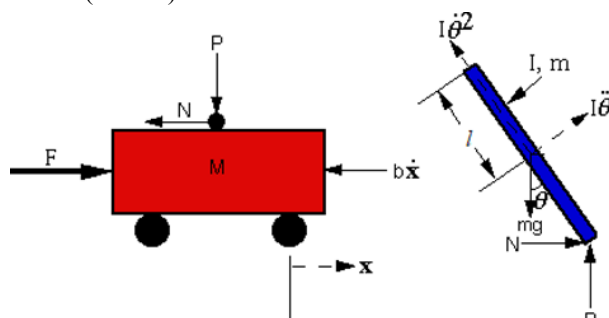
2. MATERIJAL I METOD RADA

2.1. Model sistema

Sistem inverznog klatna na kolicima se sastoji od kolica koje se mogu pomerati horizontalno i od klatna koje je pričvršćeno za kolica jednim svojim krajem. Kao rezultat, klatno se može kretati samo u ravni kretanja kolica [2].

Sistem inverznog klatna na kolicima je nelinearan sistem sa dve ravnotežne tačke: jedna stabilna ($\theta = 0$) i jedna nestabilna ($\theta = 180^\circ$). Zbog inherentne nestabilnosti potrebno je primeniti silu kako bi se održao uspravan položaj što je i cilj ovog rada [3].

Prilikom analize sistema, potrebno je izvršiti razlaganje sistema i posebno posmatrati sile koje deluju na kolica i na klatno (Slika 1). Parametri sistema su sledeći:



Slika 1. Prikaz sile koje deluju na kolica i klatno [4]

- M – Masa kolica [kg]
- m – Masa klatna [kg]
- b – Koeficijent trenja kolica [Ns/m]
- I – Maseni moment inercije klatna [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
- g – Gravitaciona sila [m/s^2]
- l – Dužina od kraja klatna do centra mase klatna [m]
- F – Sila koja deluje na kolica [N]
- x – Položaj kolica [m]
- θ – Ugao klatna u odnosu na vertikalnu osu [$^\circ$]
- N – Horizontalna komponenta sile reakcije
- P – Vertikalna komponenta sile reakcije

Posmatrajući sile koje deluju u horizontalnom pravcu na kolica, dobija se jednačina

$$M\ddot{x} + b\dot{x} + N = F. \quad (2.1)$$

Odatle sledi

$$\ddot{x} = \frac{(F - N - b\dot{x})}{M}. \quad (2.2)$$

Sumirajući sile koje deluju u vertikalnom pravcu na kolica ne dobiju se korisni podaci, samim tim nema potrebe da se posmatra ovaj slučaj [5].

Na klatno u horizontalnom pravcu deluje inerciona sila, tangencijalna sila i centripetalna sila i zapisuje se kao

$$N = m\ddot{x} - ml\dot{\theta}^2 \sin(\theta) + ml\ddot{\theta} \cos(\theta). \quad (2.3)$$

Zamenom izraza (2.3) u (2.2) i sređivanjem dobije se

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta} \cos(\theta) - ml\dot{\theta}^2 \sin(\theta) = F, \quad (2.4)$$

i ona predstavlja prvu jednačinu modela sistema.

Prilikom analize uticaja sila u vertikalnom pravcu na klatno, dolazi se do jednačine

$$P \sin(\theta) + N \cos(\theta) - mg \sin(\theta) = ml\ddot{\theta} + m\ddot{x} \cos(\theta). \quad (2.5)$$

Sabiranjem momenata oko težine klatna dobije se

$$-Nl \cos(\theta) - Pl \sin(\theta) = \ddot{\theta} I, \quad (2.6)$$

iz čega može da se izrazi

$$P = \frac{\ddot{\theta} I + Nl \cos(\theta)}{-l \sin(\theta)}. \quad (2.7)$$

Nakon što se (2.7) uvrsti u (2.5) i sredi, dobije se

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + mgl \sin(\theta) = -ml \cos(\theta)\ddot{x} \quad (2.8)$$

i ona predstavlja drugu jednačinu modela [6].

2.1.1. Linearizacija oko pozicije $\theta = \pi$

Za dobijanje funkcije prenosa i za simuliranje modela u Simulinku neophodno je izvršiti linearizaciju. Pošto se klatno stabilizuje u nestabilnoj ravnotežnoj tački, jednačine treba linearizovati oko $\theta = \pi$ i pretpostavlja se

$$\theta = \pi + \phi, \quad (2.9)$$

gde ϕ predstavlja mali ugao odstupanja od gornjeg vertikalnog položaja π .

Pod pretpostavkom da se klatno pomera u malim uglovima, mogu se zapisati aproksimacije

$$\cos(\theta) = \cos(\pi + \phi) \approx -1, \quad (2.10)$$

$$\sin(\theta) = \sin(\pi + \phi) \approx -\phi, \quad (2.11)$$

$$\dot{\theta}^2 = \dot{\phi}^2 \approx 0. \quad (2.12)$$

Nakon zamene aproksimacija u nelinearne jednačine (2.8) i (2.4), dobiju se dve linearizovane jednačine

$$(I + ml^2)\ddot{\phi} - mgl\phi = ml\ddot{x}, \quad (2.13)$$

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} - ml\ddot{\phi} = u, \quad (2.14)$$

gde se umesto oznake F prelazi na oznaku u , jer sila F u kontekstu upravljanja predstavlja ulazni signal u [7].

2.2. PID

PID regulator se dobije objedinjavanjem proporcionalnog, integralnog i diferencijalnog dejstva. Zapisuje se u formi

$$\text{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (2.21)$$

gde K_p predstavlja pojačanje, K_i integracionu konstantu, K_d diferencijalnu konstantu i $e(t)$ označava grešku. U industriji parametri PID regulatora se vrlo često određuju na empirijski način. Proporcionalno dejstvo utiče na vreme uspona i nikada ne eliminiše grešku u ustaljenom stanju. Integralno dejstvo smanjuje grešku u ustaljenom stanju ali može loše uticati na odziv sistema u prelaznom režimu. Diferencijalno dejstvo poboljšava odziv sistema u prelaznom režimu, smanjuje preskok i pozitivno utiče na stabilnost sistema [8].

2.3. Feedback linearizacija

Cilj feedback linearizacije je da se nelinearni sistem primenom upravljanja u povratnoj sprezi transformiše u linearan. Nelinearni sistemi u sebi sadrže nelinearnosti, a upravljanje treba da se bira tako da poništi te nelinearnosti. Nakon poništavanja nelinearnosti, sistem postaje linearan [9]

Sistem jednačina inverznog klatna na kolicima može da se izrazi u matričnom obliku

$$\begin{bmatrix} M + m & ml \cos(\theta) \\ ml \cos(\theta) & I + ml^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u - b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2 \\ -mgl \sin(\theta) \end{bmatrix}, \quad (2.22)$$

odakle može da se izrazi

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(I + ml^2)(u - b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2) + (ml)^2 \sin(\theta) \cos(\theta) g}{r} \\ \frac{-ml \cos(\theta) (u - b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - (M + m)mgl \sin(\theta))}{r} \end{bmatrix}, \quad (2.23)$$

gde je

$$r = Mml^2 + (M + m)I + (ml)^2 (\sin(\theta))^2. \quad (2.24)$$

Korišćenjem $X_1 = x, X_2 = \dot{x}, X_3 = \theta, X_4 = \dot{\theta}$ kao promenljivih stanja može da se koristi zapis

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \\ \dot{X}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \mathbf{f}(\mathbf{X}) + \mathbf{g}(\mathbf{X})u =$$

$$= \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \frac{(I + ml^2)(-b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2) + (ml)^2 \sin(\theta) \cos(\theta) g}{r} \\ \dot{\theta} \\ \frac{-ml \cos(\theta) (-b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - (M + m)mgl \sin(\theta))}{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{I + ml^2}{r} \\ 0 \\ \frac{-ml \cos(\theta)}{r} \end{bmatrix} u, \quad (2.25)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{X}) = [0 \ 0 \ 1 \ 0] \mathbf{X}. \quad (2.26)$$

Da bi se uspešno odabrao upravljački signal, potrebno je da se izrazi i analizira $\ddot{\theta}$ iz (2.25):

$$\ddot{\theta} = \frac{-ml \cos(\theta) (-b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - (M + m)mgl \sin(\theta))}{Mml^2 + (M + m)I + (ml)^2 (\sin(\theta))^2} - \frac{ml \cos(\theta)}{Mml^2 + (M + m)I + (ml)^2 (\sin(\theta))^2} \cdot u. \quad (2.27)$$

Potrebno je odabrati upravljački signal u tako da eliminiše sve nelinearnosti u izrazu (2.27):

$$u = - \frac{Mml^2 + (M + m)I + (ml)^2 (\sin(\theta))^2}{ml \cos(\theta)} \cdot \left(- \frac{-ml \cos(\theta) (-b\dot{x} + ml \sin(\theta) \dot{\theta}^2 - (M + m)mgl \sin(\theta))}{Mml^2 + (M + m)I + (ml)^2 (\sin(\theta))^2} + K_1 e_\theta + K_2 \dot{e}_\theta + \ddot{\theta}_d \right), \quad (2.28)$$

gde je greška jednaka razlici željenog ugla θ_d i izmerenog ugla θ , tj. $e_\theta = \theta_d - \theta$.

Nakon što se dobijeno upravljanje uvrsti u jednačinu (2.27), dobije se

$$\ddot{\theta} = K_1 e_\theta + K_2 \dot{e}_\theta + \ddot{\theta}_d, \quad (2.29)$$

i ona više ne sadrži nelinearnosti. Nakon toga prelazi se na izbor adekvatne upravljačke kontrole. U ovom slučaju primenjuje se metoda podešavanja polova i dobije se $K_1 = \omega^2$ i $K_2 = 2\omega$. K_1 i K_2 predstavljaju svojstvene vrednosti sistema, odnosno polove karakteristične jednačine, a ω predstavlja realnu vrednost dvostrukog pola tj. mesto pola

na realnoj osi kompleksne ravni. Kada se svojstvene vrednosti sistema nalaze u levoj polovini kompleksne ravni tj. ako je $\omega < 0$, sistem će konvergirati ka željenoj vrednosti tj. greška će konvergirati ka nuli $e_\theta(t) \rightarrow 0$ [10]:

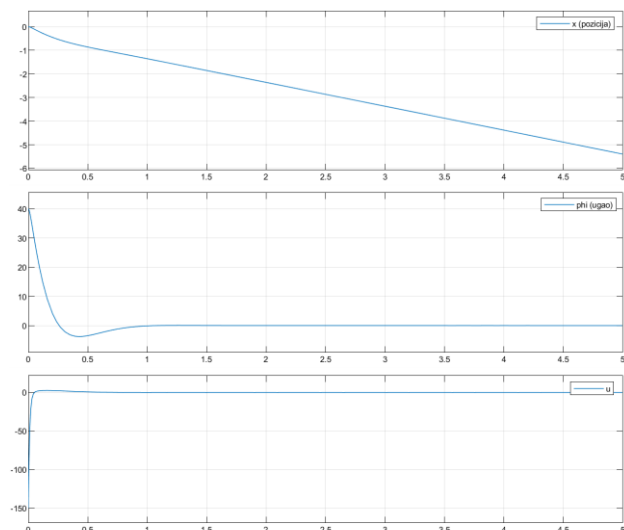
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Linearizovan sistem sa PID regulacijom

Parametri PID regulatora su određeni na empirijski način i one iznose: $K_p = 15$, $K_i = 2$, $K_d = 2$.

Analiziranjem dobijenih rezultata može da se zaključi da u slučaju kada je $-38^\circ < \phi < 38^\circ$ linearizacija je u potpunosti upotrebljiva i PID regulacija može da vrati klatno u uspravan položaj koji odstupa od 180° za malu vrednost reda veličine 10^{-3} .

Za uglove $\phi > 38^\circ$ i $\phi < -38^\circ$ kombinacija linearizacije i PID regulacije je i dalje efikasna, klatno vraća u uspravan položaj. Ipak, u poređenju sa prethodnim slučajem, odstupanje od željene pozicije je većeg reda veličine, iako je približno jednaka 0° . Važno je naglasiti, ako je sistem daleko od radne tačke u kojoj je model linearizovan, onda to više nije realan prikaz rada sistema, jer linearizacija unosi značajnu grešku. Na Slici 2 su prikazani rezultati simulacije za $\phi = 40^\circ$.



Slika 2. Rezultati simulacije (pozicija kolica, ugao klatna i upravljanje) za $\phi = 40^\circ$.

Brzi skok upravljačkog signala ukazuje da je sistem imao inicijalno odstupanje koje je zahtevalo snažnu korekciju. Na osnovu smirenja upravljačkog signala zaključujemo da je sistem doveden u stabilno stanje i nije više potrebna aktivna regulacija.

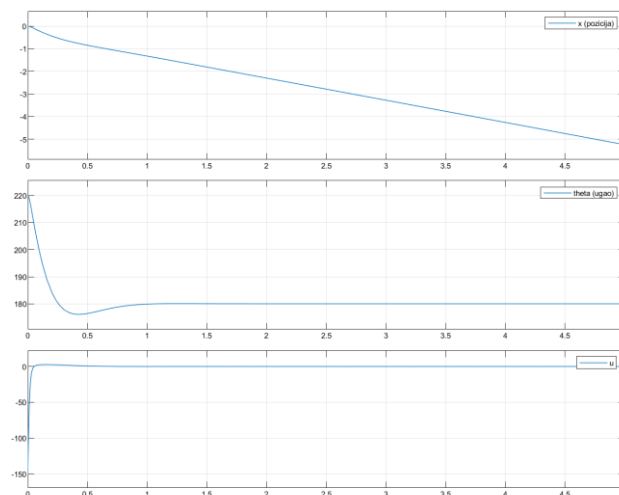
U svim simulacijama kolica se pomeraju radi korekcije nagiba klatna i nemaju mehanizam za vraćanje u početnu poziciju. Upravljanje utiče na poziciju kolica, ali u okviru ovog rada nije razmatrano. Ukoliko je klatno izmešteno iz ravnotežnog položaja ulevo, kolica se kreću u levom smeru, analogno, izmeštanjem klatna udesno, kolica se pomeraju u desnom smeru da bi vratili klatno u gornje ravnotežno stanje. Ponašanje kolica je identično i u slučaju nelinearnog sistema sa PID regulacijom (poglavlje 3.2) i u slučaju feedback linearizacije (poglavlje 3.3).

3.2. Nelinearan sistem sa PID regulacijom

Parametri PID regulatora su određeni na empirijski način i one iznose: $K_p = 15$, $K_i = 2$, $K_d = 2$.

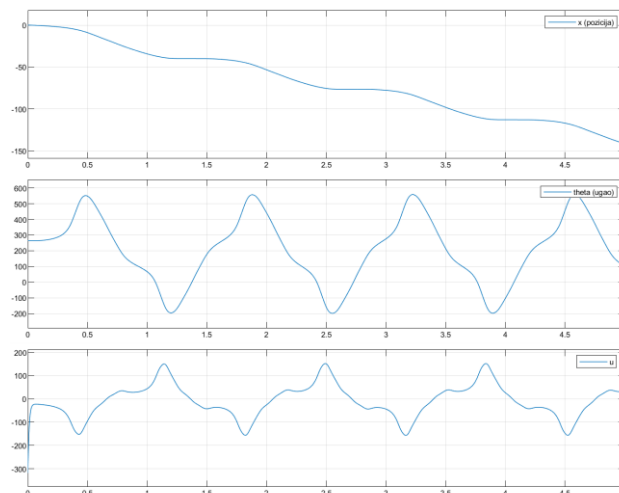
Prilikom simulacija gde je $-39^\circ < \phi < 39^\circ$ PID regulacija uspešno vraća klatno u uspravan položaj, klatno odstupa od 180° za malu vrednost reda veličine 10^{-3} .

Ukoliko je $-80^\circ < \phi < -40^\circ$ ili $80^\circ < \phi < 40^\circ$ nakon PID regulacije odstupanja klatna od 180° su većege reda od prethodnog slučaja, ali rezultati su i dalje približno jednaki nuli. Na Slici 3 su prikazani rezultati simulacije za $\phi = 40^\circ$.



Slika 3. Rezultati simulacije (pozicija kolica, ugao klatna i upravljanje) za $\phi = 40^\circ$.

U slučaju kada je $\phi > 80^\circ$, PID regulacija ne može da vrati klatno u uspravan ili približno uspravan položaj. Postoje značajne oscilacije i kod pozicije kolica, ugla klatna i upravljanja, što se i vidi na Slici 4 za $\phi = 85^\circ$.



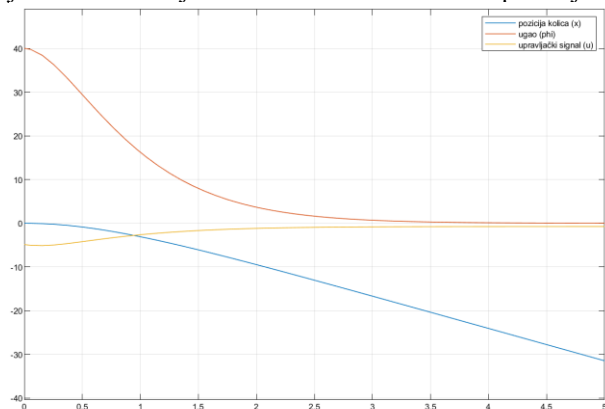
Slika 4. Rezultati simulacije (pozicija kolica, ugao klatna i upravljanje) za $\phi = 85^\circ$.

3.3. Feedback linearizacija

Na osnovu rezultata može da se zaključi da je metod feedback linearizacije efikasan, ali mu je potrebno određeno vreme da klatno dovede u referentni položaj. Za početna izmeštanja uglova veća od $\phi = 15^\circ$, vreme od $t = 2.5$ s nije dovoljno da se klatno vrati u referentni položaj. Ipak, u trenutku $t = 7.5$ s, vrednosti uglova su veoma

male, što ukazuje na to da se klatno nakon svakog početnog pomeraja uspešno vraća na 180° .

Na Slici 5 je prikazan rezultat simulacije za $\phi = 40^\circ$ i jasno se vidi da je klatno vraćeno u referentni položaj.



Slika 5. Rezultati feedback linearizacije (pozicija kolica, ugao klatna i upravljanje) za $\phi = 40^\circ$.

U slučaju velikih početnih pomeraja kao što je $\phi = 160^\circ$, upravljanje uzima jako velike vrednosti i ne može se fizički implementirati. Zbog toga se dodaje saturacija (sa granicama 100 i -100) na upravljanje. Nakon primene saturacije klatno se i dalje vraća na 180° .

Može se desiti da do $t = 10$ s kolica dostignu veliku udaljenost kao što je -235 m za $\phi = 80^\circ$, a to nije fizički izvodljivo i potrebno je i ograničenje pozicije uzeti u obzir.

Smetnje mogu da se jave i tokom simulacija. Za primer uzimamo slučaj kada je klatno na početku simulacije izmešteno za $\phi = 30^\circ$ i na njega deluje impuls u trenutku $t = 5$ s. U Tabeli 1 su analizirani dobijeni rezultati položaja klatna za različite vrednosti amplitude i širine impulsa. Jasno se vidi da su rezultati zadovoljavajući i da feedback linearizacija uspešno vraća klatno na 180° .

Tabela 1. Pomeraj klatna [$^\circ$] u odnosu na 180° u trenutku $t = 15$ s, kada je početno pomeranje $\phi = 30$ i na njega deluje impuls u trenutku $t = 5$ s.

		Amplituda impulsa			
		1	5	20	100
Širina	1	-0.0000005	-0.0000029	-0.0000137	-0.0000414
imp.	10	-0.0000138	-0.0000645	-0.0000855	-0.0003933
[%]	30	-0.0005710	-0.0026827	-0.0051160	-0.0035069

Za veće vrednosti amplitude i širine impulsa nastaje upravljanje koje nije moguće realizovati u svakom realnom sistemu. Samim tim ove slučajeve bi trebalo analizirati primenom saturacije na upravljanje, ali to prevazilazi okvire ovog rada

4. ZAKLJUČAK

U slučaju linearizovanog modela sa PID regulacijom klatno se uspešno vraća u gornji ravnotežni položaj za sva početna izmeštanja. Važno je naglasiti da sami rezultati jesu zadovoljavajući, ali da linearizovani model nije adekvatan ako se posmatra daleko od radne tačke, jer time ne odslikava realno ponašanje sistema.

Prilikom nelinearnog modela sa PID regulacijom za $-80^\circ < \phi < 80^\circ$ klatno se vraća na 180° . Ukoliko je $\phi >$

80° ili $\phi < -80^\circ$, klatno ne može da se vrati u referentni položaj (180°) i osciluje. Dakle, možemo zaključiti da primena PID regulatora na nelinearizovani model (realan sistem) ima izvesna ograničenja po pitanju opsega radnih parametara, odnosno početnog položaja klatna.

Feedback linearizacija se efikasno može primeniti nezavisno od veličine početnog pomeranja ϕ i nezavisno od smetnje tokom simulacije. Feedback linearizacija uspešno poništava nelinearnosti sistema i klatno se u svakom slučaju vrati u referentni položaj, ali potrebno je obratiti pažnju na mogućnost fizičke realizacije, jer u pojedinim slučajevima upravljanje ima jako velike vrednosti koje nisu izvodljive u realnom okruženju. Sveukupno govoreći, ova tehnika upravljanja je sa teorijskog aspekta najuspešnija, jer ne zavisi od početnog položaja klatna. Sa druge strane, po pitanju praktične implementacije ove tehnike, može se reći da je ona nešto komplikovanija u odnosu na linearni (PID) regulator.

5. LITERATURA

- [1] A. Erdeljan, D. Čapko, "Modelovanje i simulacija sistema: sa primerima - II izdanje", Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu. ISBN: 978-86-6022-101-0 (broš.), 2018.
- [2] Md. Monir, "Analyzing and Designing Control System for an Inverted Pendulum on a Cart", European Scientific Journal, Vol. 14, No. 6, pp. 387-398, 2018.
- [3] D. Firmansyah, "Simulation of an inverted pendulum", Hayfa Press, Padang. ISBN: 978-979-1134-121-0, 2020.
- [4] <https://img.goglas.com/img/138971214>, pristupljeno 15.03.2025
- [5] K. Sultan, "Inverted Pendulum, Analysis, Design and Implementation", Institute of Industrial Electronics Engineering, Karachi, Pakistan. Document Version 1.0, 2003.
- [6] I. S. Channabasayya, U. B. Mathpati, "Stability Analysis of Inverted Cart Pendulum Using PID and H_∞ Controller", International Journal of Advance Electrical and Electronics Engineering, ISSN: 2278-8948, Vol. 4, No. 1, pp: 21-27, 2015.
- [7] U. H. P. Kumarihami, I. S. I. Jayathunga, B. I. Annasiwaththa, "Development of a Virtual Inverted Pendulum Controlling System for Online Teaching", GARI International Journal of Multidisciplinary Research, ISSN: 2659-2193, Vol. 07, No. 01, 2021.
- [8] L. Netranjeeb, "Modeling and Controller Design of an Inverted Pendulum System", Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela. Bachelor's thesis, 2011.
- [9] H. K. Khalil, "Nonlinear Systems. Third Edition", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. ISBN: 0-13-067389-7, 2002.
- [10] https://youtu.be/YYLFGf_IjMI?si=-I2iWWyFgKs1--q, pristupljeno 10.02.2025.

Kratka biografija:



Žofia Galac rođena je u Subotici 2000. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarstvo i automatika odbranila je 2023.god.
kontakt: galaczsofia@gmail.com

IMPLEMENTACIJA ALGORITMA ZA PROCENU MORFOLOŠKIH PROMENA GRUDNOG KOŠA KOD DECE SA CEREBRALNOM PARALIZOM KORIŠĆENJEM 3D KAMERA

ALGORITHM IMPLEMENTATION FOR ASSESSING THORACIC MORPHOLOGICAL CHANGES IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY USING 3D CAMERAS

Doroteja Majstorović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – **BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je novi pristup za neinvazivnu procenu morfoloških promena grudnog koša kod dece sa cerebralnom paralizom, zasnovan na upotrebi dubinske kamere. Razvijeni algoritam integriše napredne tehnike obrade slike i trodimenzionalnih podataka za praćenje referentnih tačaka na grudnom košu, omogućavajući kvantitativnu analizu respiratornog ciklusa. Eksperimentalna validacija pokazala je visoku ponovljivost merenja između sesija, sa razlikama manjim od 1% u površinama poprečnih preseka, što sugerise potencijal metode za kliničku primenu. Predloženi pristup predstavlja značajan korak ka razvoju pristupačnih i pouzdanih metoda za praćenje respiratorne funkcije kod pedijatrijske populacije sa neuromišićnim poremećajima.

Ključne reči: cerebralna paraliza, dubinska kamera, morfološke promene, respiratorna funkcija, obrada slike, neinvazivno praćenje

Abstract – This paper presents a novel approach for non-invasive assessment of chest wall morphological changes in children with cerebral palsy, based on depth camera technology. The developed algorithm integrates advanced image processing and three-dimensional data analysis techniques for tracking reference points on the chest wall, enabling quantitative analysis of the respiratory cycle. Experimental validation demonstrated high measurement repeatability between sessions, with differences less than 1% in cross-sectional areas, suggesting the method's potential for clinical application. The proposed approach represents a significant step towards developing accessible and reliable methods for monitoring respiratory function in pediatric populations with neuromuscular disorders.

Keywords: cerebral palsy, depth camera, morphological changes, respiratory function, image processing, non-invasive monitoring

1. UVOD

Procena respiratorne funkcije kod dece sa cerebralnom paralizom predstavlja značajan izazov u kliničkoj praksi, prvenstveno zbog čestih deformiteta grudnog koša i ograničene pokretljivosti karakteristične za ovo stanje [1].

NAPOMENA:

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

Tradicionalne metode procene, poput rendgenskog snimanja i CT (eng. *computed tomography*, CT) skeniranja, iako precizne, nose rizik od izlaganja zračenju i često nisu praktične za redovno praćenje [2][3]. Alternativne metode, poput optoelektronske pletizmografije, mogu biti nepristupačne zbog visokih troškova opreme [4].

Cerebralna paraliza kao neuromišićni poremećaj često je praćena specifičnim respiratornim izazovima koji značajno utiču na kvalitet života pacijenta [5]. Deformiteti grudnog koša, kao što su *pectus excavatum* ili kifoza, dodatno komplikuju respiratornu funkciju kod ove populacije. Praćenje ovih promena tradicionalno zahteva redovna snimanja, što predstavlja dodatni izazov u radu sa decom.

Razvoj tehnologija za medicinsko snimanje, posebno dubinskih kamara, otvorio je nove mogućnosti za neinvazivnu procenu anatomske strukture. Ovi uređaji omogućavaju trodimenzionalno mapiranje površinskih karakteristika tela u realnom vremenu, što ih čini posebno pogodnim za praćenje morfoloških promena kod pacijenata sa neuromišićnim poremećajima [6].

2. METODE

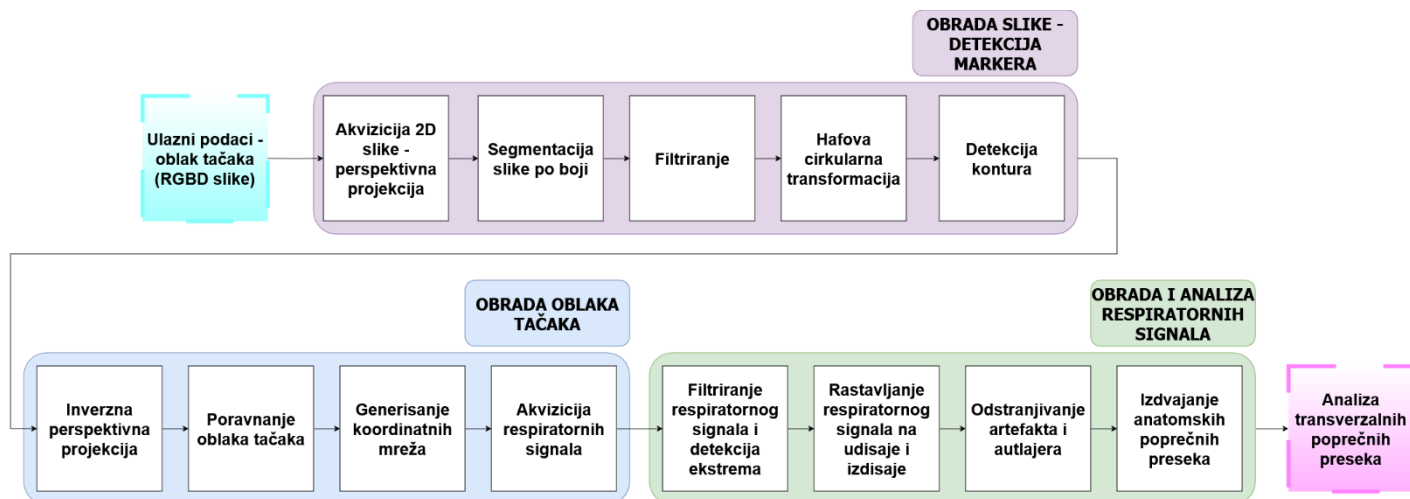
Razvijeni sistem zasniva se na upotrebi *Intel RealSense D435i* dubinske kamere [7], koja omogućava istovremeno prikupljanje RGB slike i podataka o dubini scene. Kamera je pozicionirana na fiksnoj visini od 527mm iznad pacijenta, obezbeđujući konzistentan ugao snimanja i pokrivenost regije od interesa.

Algoritam za obradu podataka implementiran je kroz nekoliko ključnih faza, koji su prikazani dijagramom na slici 1.

2.1. Obrada slike – detekcija markera

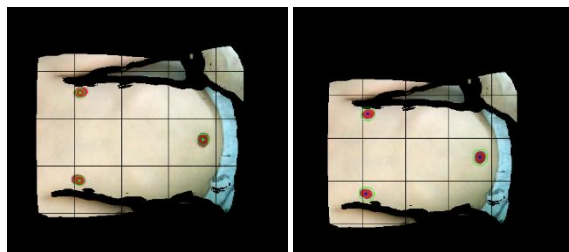
U prvoj fazi, trodimenzionalni oblak tačaka (eng. *point cloud*) dobijen sa kamere transformiše se u dvodimenzionalni prostor primenom perspektivne projekcije, koristeći intrinzične parametre kamere. Za praćenje morfoloških promena, na ključnim anatomske tačkama (bradavice i pupak) postavljaju se crveni kružni markeri.

Detekcija markera realizovana je kroz višestepeni proces koji kombinuje segmentaciju po boji u RGB prostoru i napredne tehnike detekcije oblika. Nakon inicijalne segmentacije crvenih regiona, primenjuju se Gausov i



Slika 1. Dijagram algoritma

medijan filter za redukciju šuma, praćeni Hafovom cirkularnom transformacijom [8] za detekciju kružnih oblika. Dodatna verifikacija vrši se kroz analizu kontura detektovanih objekata [9], čime se značajno povećava robusnost sistema (slika 2.).



Slika 2. Rezultat detekcije kružnih markera.

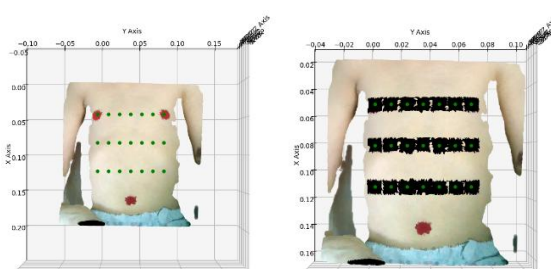
Leva figura sa slike 2. prikazuje rezultate primene Hafove transformacije. Zelenom bojom su označeni detektovani centroidi kružnica kao i njihove granice. Desna figura sa slike 2. prikazuje rezultate nakon dodatne primene detekcije kontura. Plavom bojom su označeni centroidi kružnica, dok zelena boja označava detektovane kružne granice objekata.

2.2. Obrada oblaka tačaka

Nakon uspešne detekcije markera u 2D prostoru, njihove pozicije se mapiraju nazad u 3D prostor primenom inverzne perspektivne projekcije. Zatim se primenjuje ridigna transformacija u cilju poravnanja oblaka tačaka.

Za sistematsko praćenje morfoloških promena, implementiran je sistem generisanja koordinatne mreže 3x7 tačaka. Mreža se formira automatski nakon detekcije markera, sa sedam ekvidistantnih tačaka između bradavica duž y-ose i tri nivoa merenja između bradavica i pupka (slika 3. leva figura). Oko svake tačke mreže definiše se region interesa dimenzija 2x2 cm, unutar kojeg se prati varijacija dubine tokom respiratornog ciklusa (slika 3. desna figura).

U ovim regionima, merena je promena udaljenosti između površine torza i stola tokom vremena. Za svaku tačku, dubina je predstavljala najkraće rastojanje od te tačke do površine stola, izračunata kao razlika između z-koordinate stola (d), (d zapravo predstavlja rastojanje kamere od stola) i z-koordinate površinske tačke (z).



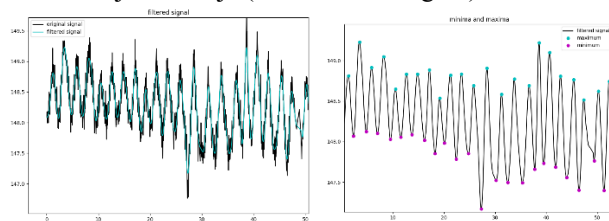
Slika 3. Prikaz koordinatne mreže (leva figura) i definisanih regiona od interesa oko svake tačke koordinatne mreže (desna figura)

Signal $r(t)$ prikazuje promenu dubine kroz vreme, što je omogućilo praćenje varijacije dubine tokom respiratornog ciklusa. Na ovaj način, za svaki region od interesa generisan je respiratorni signal koji predstavlja promene u dubini grudnog koša tokom vremena.

$$r(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d - z_i(t)) \quad (1)$$

2.3. Obrada respiratornih signala

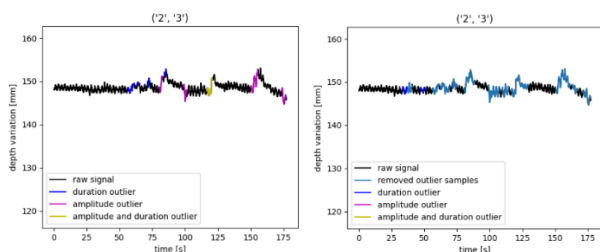
Signali se filtriraju niskopropusnim Butterworth filtrom, četvrtog reda, granične frekvencije 1Hz radi eliminacije šuma (slika 2. leva figura). Implementiran je algoritam za detekciju lokalnih ekstrema koji omogućava identifikaciju faza udisaja i izdisaja (slika 2. desna figura).



Slika 2. Prikaz filtriranja sirovih signala (leva figura) i detekcija ekstrema na filtriranom signalu (desna figura)

Za eliminaciju artefakata i ekstremnih vrednosti (eng. *outlier*; u daljem tekstu autlajer) primenjuje se *IQR* (eng. *Interquartile range*, *IQR*) metoda, koja se iterativno ponavlja dok se ne dobije signal koji reprezentuje dominantni obrazac disanja (slika 3.) [10]. Algoritam za izbacivanje autlajera i artefakta primenjen je rekurzivno,

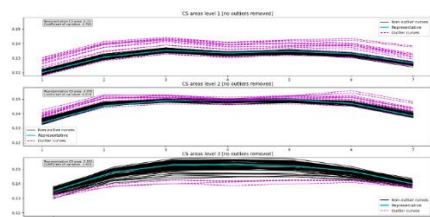
odstranjivanje je vršeno dok svi autlajeri i artefakti nisu izbačeni. Važno je napomenuti da algoritam poseduje samozaustavnih mehanizam, kako se sve krive ne bi u jednom trenutku smatrale autlajerom. Ideja je da se u signalu zadrži više od 50% krivih. Detektovani autlajeri su odstranjeni na svim kanalima u 3x7 mreži.



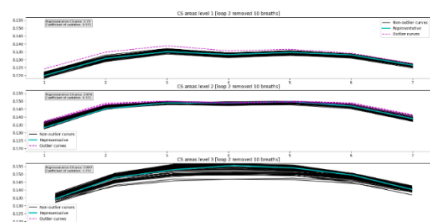
Slika 3. Iterativno odstanjivanje artefakata i ekstremnih vrednosti

Leva figura sa slike 3. predstavlja artefakte i ekstremne vrednosti tj. autlajere detektovane u prvoj iteraciji algoritma. Plavom bojom označeni su autlajeri po trajanju disajnog obrasca, ciklama bojom autlajeri po amplitudi disajnog obrasca, dok žutom su označeni autlajeri koji su bili detektovani kao autlajeri i po trajanju i po amplitudi. Desna figura sa slike 3. predstavlja narednu iteraciju odstranjivanja autlajera, gde su svetlo plavom bojom označeni autlajeri iz prethodne iteracije. Prethodno pomenute boje (plava, ciklama, žuta) ukazuju na nove autlajere detektovane u datoj iteraciji algoritma. Posmatrajući delove krive koji nisu obojeni (predstavljeni crnom bojom), dolazi se do zaključka da je odstranjivanje autlajera i artefakata dovelo do znatno ujednačenijeg signala.

Na osnovu prečišćenih signala generišu se poprečni preseki za svaki nivo mreže (slika 4. i 5.), dok reprezentativni preseki predstavljaju medoid u skupu podataka. Slike 4. i 5. prikazuju tri kategorije podataka: autlajere (isprekidana linija ciklama boje), reprezentativni poprečni presek (svetlo plava linija) i preostale podatke iz skupa (crna linija).



Slika 4. Prikaz inicijalnih poprečnih preseka za svaki nivo (pre odstranjivanja artefakata i autlajera iz respiratornog signala)



Slika 5. Prikaz finalnih poprečnih preseka za svaki nivo (nakon odstranjivanja artefakata i autlajera iz respiratornog signala)

3. REZULTATI

Evaluacija sistema pokazala je značajno poboljšanje u konzistentnosti merenja kroz iterativnu primenu algoritma za eliminaciju ekstremnih vrednosti. Koeficijenti varijacije prikazani u Tabeli 1. odnose se na prvog ispitanika, prvu sesiju, u trenucima inspiracije. Inicijalni koeficijenti varijacije za tri nivoa merenja prikazani pomenutom tabelom značajno su smanjeni nakon obrade, ukazujući na efektivnost implementiranog sistema za eliminaciju artefakata.

Tabela 1. Prikaz koeficijenata varijacije površina poprečnih preseka za jednog ispitanika za trenutke inspiracije

faza obrade	nivo 1	nivo 2	nivo 3
inicijalna	1.785	0.878	1.949
finalna	0.552	0.332	1.251

Poređenje rezultata između dve sesije merenja, za prvog ispitanika u trenucima inspiracije, pokazalo je izuzetnu konzistentnost u površinama poprečnih preseka, gledajući Tabelu 2.

Tabela 2. Poređenje površina reprezentativnih poprečnih preseka između dve sesije za trenutke inspiracije (prvi ispitanik)

sesija	nivo 1	nivo 2	nivo 3
1	0.79 m ²	0.87 m ²	0.875 m ²
2	0.79 m ²	0.876 m ²	0.879 m ²

Slična konzistentnost uočena je i za trenutke ekspiracije, sa razlikama manjim od 1% između sesija.

Pored demonstrirane konzistentnosti između sesija kod pojedinačnog ispitanika, sistem je pokazao i visoku repetitivnost pri testiranju na drugom ispitaniku. Tabelama 3. i 4. prikazani su rezultati za još jednog ispitanika, takođe u trenucima inspiracije.

Tabela 3. Prikaz koeficijenata varijacije površina poprečnih preseka za drugog ispitanika za trenutke inspiracije

faza obrade	nivo 1	nivo 2	nivo 3
inicijalna	0.429	0.359	1.104
finalna	0.327	0.26	0.683

Tabela 4. Poređenje površina reprezentativnih poprečnih preseka između dve sesije za trenutke inspiracije (drugi ispitanik)

sesija	nivo 1	nivo 2	nivo 3
1	0.772 m ²	0.779 m ²	0.792 m ²
2	0.775 m ²	0.794 m ²	0.776 m ²

Poređenje koeficijenata varijacije između dva ispitanika (Tabele 1. i 3.) pokazuje različite stepene smanjenja nakon primene algoritma za eliminaciju artefakata i autlajera. Kod prvog ispitanika zabeleženo je značajnije smanjenje koeficijenata varijacije od 69.1%, 62.2% i 35.8% za prvi, drugi i treći nivo, respektivno. Drugi ispitanik pokazuje umerenija smanjenja od 23.8%, 27.6% i 38.1%. Inicijalne vrednosti koeficijenata varijacije kod drugog ispitanika (0.429, 0.359, 1.104) bile su znatno niže u odnosu na prvog

ispitanika (1.785, 0.878, 1.949), što može objasniti manje izraženo procentualno smanjenje. Razlika u inicijalnim vrednostima može se pripisati prisustvu specifičnih artefakata u signalima prvog ispitanika koji nisu bili prisutni kod drugog ispitanika. Uprkos različitim inicijalnim vrednostima, algoritam je u oba slučaja uspešno smanjio varijabilnost podataka, pri čemu su finalne vrednosti koeficijenata varijacije kod oba ispitanika svedene na uporediv nivo.

Dodatno je važno primetiti da su finalne vrednosti kod prvog ispitanika (0.552, 0.332, 1.251) i drugog ispitanika (0.327, 0.26, 0.683) relativno bliske za prva dva nivoa merenja, dok je razlika izraženija na trećem nivou. Prvi i drugi nivo pokazuju konzistentnije rezultate nakon obrade, što je od posebnog značaja za analizu s obzirom da obuhvataju anatomske relevantne regije. Treći nivo merenja, koji se nalazi ispod grudnog koša, pokazuje veću varijabilnost čak i nakon obrade, ali se ovi podaci mogu zanemariti u daljoj analizi zbog anatomske pozicije koja nije od primarnog interesa za praćenje respiratorne funkcije.

Rezultati pokazuju da je razvijen sistem robusan i primenljiv u realnim uslovima merenja, uspešno kompenzujući manje pokrete ispitanika i varijacije u osvetljenju. Generisani poprečni preseki omogućavaju jasnu vizualizaciju morfoloških promena tokom respiratornog ciklusa, sa dobrom diskriminacijom između faza inspiracije i ekspiracije. Konzistentnost rezultata između različitih sesija merenja, kao i uspešna primena na različitim ispitanicima, potvrđuje pouzdanost sistema i njegov potencijal za praktičnu primenu.

4. DISKUSIJA

Analiza rezultata dobijenih implementacijom razvijenog sistema otkriva nekoliko značajnih aspekata. Prvo, postignuta je visoka preciznost u detekciji i praćenju referentnih tačaka, što je ključno za pouzdanu procenu morfoloških promena. Implementirani višestepeni pristup detekciji markera pokazao se robusnim u realnim kliničkim uslovima, uspešno prevazilazeći izazove varijabilnog osvetljenja i pokreta pacijenta.

Posebno je značajna sposobnost sistema da generiše konzistentne rezultate na različitim nivoima merenja grudnog koša. Ova karakteristika omogućava sveobuhvatnu analizu respiratorne funkcije, što je od velikog značaja za razumevanje obrazaca disanja kod dece sa cerebralnom paralizom. Mala varijabilnost u merenjima između sesija (<1%) kao i uspešna validacija sistema na različitim ispitanicima sugerišu visoku pouzdanost metode, što je ključno za kliničku primenu.

Ključne prednosti sistema uključuju neinvazivnost metode, pristupačnost opreme i mogućnost kontinuiranog praćenja promena u realnom vremenu. Uprkos obećavajućim rezultatima, identifikovana su određena tehnička ograničenja koja zahtevaju dalje usavršavanje. Potreba za manuelnim postavljanjem markera predstavlja potencijalno usko grlo u procesu merenja, dok zahtev za relativno stabilnim položajem pacijenta može predstavljati izazov kod dece sa izraženijim motoričkim smetnjama. Međutim, ova ograničenja ne umanjuju značajno potencijal

sistema za kliničku primenu, posebno uzimajući u obzir prednosti koje nudi u odnosu na konvencionalne metode procene.

5. ZAKLJUČAK

Predstavljeni algoritam za procenu morfoloških promena grudnog koša predstavlja značajan doprinos u razvoju pristupačnih i pouzdanih metoda za praćenje respiratorne funkcije kod dece sa cerebralnom paralizom. Eksperimentalni rezultati potvrđuju robusnost i preciznost sistema, sa konzistentnim merenjima kako između sesija tako i među različitim ispitanicima. Buduća istraživanja trebalo bi usmeriti ka razvoju metoda za automatsku detekciju anatomske tačke, implementaciji naprednih algoritama za kompenzaciju pokreta i validaciji sistema na većoj kliničkoj populaciji. Ovakav pristup otvara nove mogućnosti za dugoročno praćenje progresije deformiteta i evaluaciju efekata terapijskih intervencija kod pedijatrijske populacije sa neuromišićnim poremećajima.

6. LITERATURA

- [1] P. Rosenbaum, N. Paneth, A. Leviton, M. Goldstein, and M. Bax, "A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006," *Dev. Med. Child Neurol.*, vol. 49, pp. 8–14, Feb. 2007, doi: 10.1111/j.1469-8749.2007.tb12610.x.
- [2] B. M. Bludevich *et al.*, "External caliper-based measurements of the modified percent depth as an alternative to cross-sectional imaging for assessing the severity of pectus excavatum," *J. Pediatr. Surg.*, vol. 55, no. 6, pp. 1058–1064, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.jpedsurg.2020.02.053.
- [3] A. Semionov, J. Kosiuk, A. Ajlan, and F. Discepolo, "Imaging of Thoracic Wall Abnormalities," *Korean J. Radiol.*, vol. 20, no. 10, p. 1441, 2019, doi: 10.3348/kjr.2019.0181.
- [4] A. Lain, L. Garcia, C. Gine, O. Tiffet, and M. Lopez, "New Methods for Imaging Evaluation of Chest Wall Deformities," *Front. Pediatr.*, vol. 5, p. 257, Dec. 2017, doi: 10.3389/fped.2017.00257.
- [5] Y. Horimoto *et al.*, "Thoracic Deformity in the Transverse Plane among Adults with Severe Cerebral Palsy," *J. Phys. Ther. Sci.*, vol. 24, no. 8, pp. 763–766, 2012, doi: 10.1589/jpts.24.763.
- [6] K. Bartol, D. Bojanic, T. Petkovic, and T. Pribanic, "A Review of Body Measurement Using 3D Scanning," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 67281–67301, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3076595.
- [7] "Intel RealSense D435i." [Online]. Available: <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435i/>
- [8] "Algoritam - HoughCircle." [Online]. Available: https://docs.opencv.org/3.4/d4/d70/tutorial_hough_circle.html
- [9] "Algoritam - findContours." [Online]. Available: https://docs.opencv.org/3.4/d4/d73/tutorial_py_contours_begin.html
- [10] A. LoMauro, A. Colli, L. Colombo, and A. Aliverti, "Breathing patterns recognition: A functional data analysis approach," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 217, p. 106670, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.cmpb.2022.106670.

Kratka biografija:

Doroteja Majstorović rođena je u Beogradu 1997 godine. Upisuje osnovne akademske studije 2016. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer biomedicinsko inženjerstvo koje završava 2020. godine. Potom, iste godine, takođe na istom fakultetu, upisuje master studije, smer Automatika i upravljanje sistemima sa fokusom na biomedicinsko inženjerstvo.

Kontakt: doroteja603@gmail.com

PRIVATNE MOBILNE MREŽE I PRIMENE
PRIVATE MOBILE NETWORKS AND APPLICATIONS

Milica Milošević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*
Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je analiziran koncept privatnih mobilnih mreža koji sve više dobija na značaju sa novom generacijom mobilnih mreža i komunikacionih standarda namenjenih industrijskoj automatizaciji i projektovanju mrežnih servisa prilagođenih posebnim zahtevima korisnika. Predstavljeni su standardi namenjeni bežičnim komunikacijama i izazovi u projektovanju ovakvih sistema. Na kraju su diskutovani različiti scenariji primene i postojeća rešenja.

Ključne reči: Mobilne mreže, komunikacioni sistemi, mrežni servisi

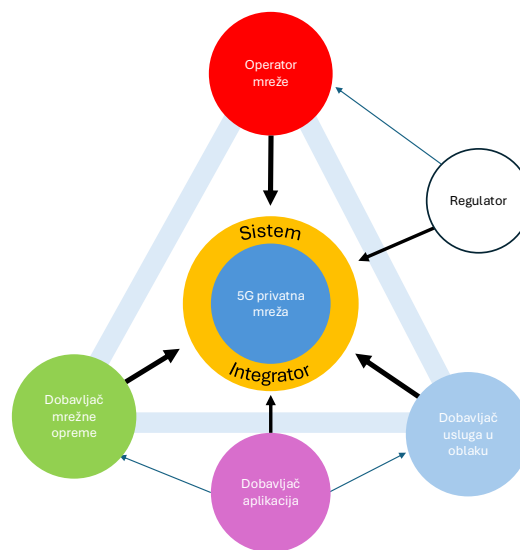
Abstract – The paper analyzes the concept of private mobile networks, which is gaining more and more importance with the new generation of mobile networks and communication standards intended for industrial automation and the design of network services adapted to the specific requirements of users. The standards intended for wireless communications and the reasons for designing such systems are presented. At the end, different application scenarios and existing solutions are discussed.

Keywords: Mobile networks, communication systems, network services

1. UVOD

Privatna mobilna mreža je namenska mrežna infrastruktura konstruisana za određenog korisnika ili grupu korisnika [1]. Ove mreže su dizajnirane da ponude pouzdanu i bezbednu bežičnu komunikaciju, istovremeno obezbeđujući potpunu kontrolu nad mrežnim podacima. Tokom godina, oni su postali sve prisutniji u različitim sektorima, uključujući proizvodnju, logistiku, komunalne usluge i javnu bezbednost, s obzirom na njihovu sposobnost da podrže poslovne i kritične aplikacije. Pojava dugoročne evolucije (engl. long term evolution, LTE) [2] i 5G tehnologija [3] podstakla je značajnu promenu paradigme u privatnim bežičnim mrežama. LTE integracija je donela poboljšane mogućnosti kao što su superioran kvalitet usluge (engl. quality of service, QoS), poboljšana skalabilnost i povećane brzine podataka. To je omogućilo privatnim mrežama da ispune širi spektar aplikacija koje zahtevaju veliki broj podataka, što je označilo značajnu prekretnicu u njihovoj evoluciji. Mreže pete generacije, 5G, predstavljaju najnoviji napredak u

evoluciji mobilnih komunikacionih sistema, sa mogućnostima da dodatno poboljšaju implementaciju i zastupljenost privatnih bežičnih mreža. Obećavajući malo vreme kašnjenja, velike brzine i mogućnosti presecanja mreže, dolazak 5G se smatra ključnim momentom u ovoj evoluciji. Trenutno se privatne 5G mreže [3] primenjuju u različitim sektorima. Proizvodni pogoni koji žele da iskoriste automatizovane sisteme, industrijski internet stvari (IIoT) [4] i bolnice koje imaju za cilj poboljšano daljinsko praćenje pacijenata samo su neki primeri ovog usvajanja. Ekosistem 5G mreže je složen i dinamičan. Uključuje više zainteresovanih strana koje pružaju različite proizvode i usluge. Slika 1 ilustruje glavne aktere koji utiču na rastuće tržište privatnih 5G mreža.



Slika 1. Akteri koji utiču na tržište privatnih 5G mreža

Mrežni operatori u ovom kontekstu uključuju:

- operatore mobilne mreže (engl. mobile network operator, MNO) koji vode sopstvenu mobilnu mrežu,
- operatore mobilne virtualne mreže (engl. mobile virtual network operator, MVNO), koji pružaju usluge mobilne komunikacije oslanjajući se na mrežu MNO,
- operatore servisa mobilne virtualne mreže (engl. mobile virtual network enabler, MVNE), koji omogućavaju pružanje usluga ili platformi sa dodatnom vrednošću na vrhu MVNO ili MNO mreže.

Za industrijske aplikacije, mogućnost dizajniranja mobilnih mreža kako bi se ispunili zahtevi pokrivenosti, performansi i bezbednosti kritičnih aplikacija (kao što su mobilni roboti, automatizovana vođena vozila i displeji na

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada pod mentorstvom dr Branka Brkljača, vanr. prof.

glavi sa naprednim mobilnim aplikacijama za radnike) je od suštinskog značaja za nove talas sajber-fizičkih sistema poznatih kao koncept industrije 4.0 [5].

2. BEŽIČNE PRIVATNE MREŽE

Trenutno su Wi-Fi bežične mreže najšire rasprostranjene privatne bežične mreže koje su našle primenu u poslovne svrhe i pri tome podržavaju i industrijske, multifunkcionalne i korporativne aplikacije. Koriste predefinisane nelicencirane frekvencijske opsege koji su opisani sledećim standardima: IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN poznat kao Wi-Fi), IEEE 802.15.1 koji je osnova za Bluetooth bežičnu komunikaciju, i IEEE 802.15.4 koji pokriva bežičnu kontrolu procesa koji koriste industrijski standard ISA 100.11a, WirelessHART, ZigBee protokol. Wi-Fi je dizajniran po principu da postoji jezgro sistema i više pristupnih tačaka (engl. access point, AP). Jezgro sistema je bežični LAN (engl. local area network) kontroler koji upravlja elementima sistema kao što su mobilnost, bezbednost, QoS i alokacija radio resursa, putem definisanih operativnih pravila. Pristupne tačke služe za povezivanje bežičnih uređaja na WLAN mrežu i podržavaju funkcije nižeg nivoa kao što su: engl. beacon handling, engl. client handshakes i engl. media access layer control encryption. Na ovakve sisteme i kvalitet implementiranih servisa značajan uticaj mogu imati smetnje i slabljenja, što za posledicu ima da njihov učinak može da varira u zavisnosti od udaljenosti između uređaja i pristupne tačke. Navedeno je i jedan od osnovnih nedostataka privatnih bežičnih mreža zasnovanih na WLAN tehnologijama kao što je Wi-Fi.

Napredna i robusna rešenja bežičnih privatnih bežičnih mreža pojavila su se sa implementacijom 4G/LTE i 5G komunikacionih tehnologija [6]. Istorija privatnih mobilnih mreža je duža i počinje sa korišćenjem tehnologija koje su trebale da obezbede radio pokrivenost na različitim geografskim lokacijama. Takvi sistemi su se prvobitno oslanjali na zemaljske mobilne radio stanice (engl. land mobile radio systems, LMRS) i 2G tehnologije, dok su primene uglavnom obuhvatale automatizaciju sistema namenjenih funkcionisanju komunalnih usluga u gradovima, bezbednosnom i transportnom sektoru. Osnovni nedostatak ovih mreža bila je nedovoljna mogućnost skaliranja i adaptacije, što ih je činilo neprikladnim za implementaciju novih servisa i rastuće potrebe u različitim domenima primene.

Standard za bežičnu širokopojasnu komunikaciju četvrte generacije, 4G prvenstveno je korišćen za usluge mobilne telefonije, ali je takođe usvojen kao tehnološka osnova za privatne bežične mreže, posebno u oblastima gde povezivanje putem Wi-Fi nije bilo moguće, dovoljno pouzdano ili isplativo. Kao primeri ovakvih rešenja posebno se ističu tzv. privatne LTE kampus mreže koje garantuju specifične karakteristike koje su neophodne za moderne poslovne procese i inovativne aplikacije koje prate najnovije trendove u industriji. Osnovni razlozi za implementaciju privatne kampus mreže jesu:

- Zatvorenost – mreži kampusa ne može da se pristupi iz javne mreže
- Pokrivenost – kompanije mogu garantovati pokrivenost na proizvoljnoj geografskoj lokaciji ili u objektima, postavljanjem i održavanjem sopstvene 4G infrastrukture

- Kapacitet – kompanije mogu da u potpunosti i isključivo koriste raspoložive kapacitete. Oni mogu da konfiguriraju propusni opseg uzlaznih i silaznih linkova namenjenih funkcionisanju različitih servisa, u skladu sa svojim specifičnim zahtevima za kapacitetom (na primer da podrže prenos višestrukih video tokova visoke rezolucije ili daljinskih merenja u realnom vremenu namenjenih analizama, upravljanja ili bezbednosnim aplikacijama.

- Sigurnost i kontrola – kompanije mogu same da definišu koji će korisnici koristiti mrežu, kako će resursi biti raspodeljeni po korisnicima ili aplikacijama kao i upravljanje njihovim prioritetom. Ako je potrebno, parametri u privatnoj LTE mreži takođe mogu da se prilagode kako bi se optimizovala pouzdanost i kašnjenje u izazovnim fizičkim okruženjima. Na taj način postižu se bolji uslovi za implementaciju različitih internih strategija za podizanje pouzdanosti i bezbednosti procesa koji se oslanjaju na implementiranu mrežnu infrastrukturu.

- Skalabilnost – privatne kampus mreže mogu da se prilagode različitim potrebama na generički i unifikovan način, odnosno podrže dodavanje novih korisnika, servisa i širenje (u meri u kojoj to dozvoljava inicijalno projektovani kapacitet jezgra mreže). Na taj način se izbegavaju dodatna ulaganja prilikom prilagođavanja infrastrukture različitim potrebama i promenama u industrijskim postrojenjima različite veličine.

- Pouzdanost – visoka pouzdanost sa niskom potrošnjom energije.

- IoT – privatne LTE mreže su dizajnirane za IoT komunikaciju i kritičnu kontrolnu signalizaciju.

Peta generacija mobilne tehnologije, 5G, dizajnirana je da poveća brzinu, smanji kašnjenje i poboljša fleksibilnost bežičnih usluga. Očekuje se da će primena 5G u implementaciji privatnih bežičnih mreža doprineti većoj zastupljenosti takvih sistema, pre svega kroz sposobnost 5G da podrži ogroman broj uređaja, što je čini idealnom za IoT aplikacije. Takođe, 5G donosi i mogućnost „sečenja mreže“ (engl. network slicing) [8], omogućavajući preduzećima i njihovim tehničkim službama da kreiraju više virtuelnih mreža unutar iste 5G mreže. Time se omogućava razdvajanje različitih korisnika i aplikacija, kao i optimizacija upotrebe raspoloživih resursa, a sve sa ciljem kako bi se ispunili specifični zahtevi različitih poslovnih i proizvodnih procesa.

Evolucija privatnih bežičnih mreža daleko je od kraja. Sa sve većom potražnjom za povezanim uređajima i IoT aplikacijama, očekuje se da će privatne bežične mreže postati još više integrisane u različite procese. Kako tehnologije kao što su rubno računarstvo (engl. edge computing), AI i IoT nastavljaju da se razvijaju, potencijalni slučajevi upotrebe privatnih bežičnih mreža se šire. Razvoj pametnih fabrika, inteligentnih transportnih sistema i pametnih gradova ukazuju na povećanu potrebu za pouzdanom, bezbednom i brzom vezom. Štaviše, regulatorne promene takođe utiču na evoluciju privatnih bežičnih mreža. Vlade širom sveta dodeljuju spektar za privatne mreže, ubrzavajući njihovu primenu i poboljšavajući njihov učinak.

3. PRIMENE PRIVATNIH 5G MREŽA

Privatna mreža pete generacije je namenska mobilna mreža sa poboljšanim komunikacionim karakteristikama, objedinjenom vezom, uslugama i prilagođenom bezbednošću unutar određene oblasti. Uzimajući u obzir prednosti i javnih i nejavnih 5G mreža, privatne 5G mreže našle su svoju primenu u industriji, poslovanju, komunalnim preduzećima i javnom sektoru [1]. Da bi podržali razvoj privatnih mobilnih mreža, 3GPP organizacija za standardizaciju mobilnih tehnologija je razvila koncept nejavnih mreža u 5G koji se sastoji od:

- Kontrole mreže (primene konfiguracije i kontrole koja nije moguća preko javnih mreža).

- Postizanja dovoljno malog kašnjenja za izvođenje vremenski kritičnih operacija.

- Garantovane pokrivenost u zatvorenom prostoru i unutar industrijskih kompleksa [4, 5] (u svim prostorijama, ako spoljno povezivanje nije potrebno, ili u čitavom fabričkom krugu, ako je u pitanju lokacija sa više objekata).

- Veće performanse (kako bi se industrijskim korisnicima pružile mogućnosti implementacije naprednijih servisa, ali i bolje kontrolisanje konfiguracije i kvaliteta usluga).

- Primena bezbednosti zasnovane na ulogama, pristupu, pozicijama i drugim kriterijumima specifičnim za potrebe pojedinih podsistema ili celog entiteta.

Tipične industrijske procesne i proizvodne aplikacije uključuju automatizaciju i kontrolu procesa, komunikaciju između kontrolera, agregaciju podataka senzora i lokalnu obradu za brzo preduzimanje odgovarajućih radnji, upravljanje imovinom, mobilne robote i upravljanje automatizovanim transpoterima (engl. automated guided vehicle, AGV).

Osnovni scenariji primene uključuju proizvodne pogone, rudnike, rečne i pomorske luke, aerodrome, komunalna preduzeća, železničku infrastrukturu [7], medijske kuće, zdravstvene službe [3]. Primene u proizvodnji se pre svega odnose na različite aspekte procesa, među kojima se ističu sledeći. Povećanje fleksibilnosti proizvodnih linija kroz lakšu i bržu rekonfiguraciju elemenata koja je moguća zahvaljujući činjenici da se povezivanje oslanja na bežičnu komunikaciju umesto žičane veze. Takođe, bolja pouzdanost i karakteristike 5G omogućavaju da se takvo umrežavanje odvija i u složenim uslovima okruženja i na distribuiranim prostornim lokacijama, što ne bi bilo moguće korišćenjem klasičnih bežičnih mreža u nelicenciranom opsegu. Ovakav način pouzdanog povezivanja omogućava i automatizovanu komunikaciju između mašina (engl. machine to machine, M2M komunikaciju), koja zahvaljujući malim kašnjenjima u 5G podržava integraciju senzora i mašina koji mogu biti proizvoljno pozicionirani unutar proizvodnog pogona. Primena AGV je takođe olakšana zahvaljujući velikom propusnom opsegu privatnih 5G mreža, koje omogućavaju prenos video tokova visoke rezolucije i upravljanje na osnovu njih u realnom vremenu. Povezivanje radnika je takođe jedan od važnih aspekata primene ovakvih sistema. Navedeno uključuje i mogućnosti primene pomoćnih sredstava kao što su proširena realnost i integraciju pametnih displeja i digitalnih asistenata koji olakšavaju izvođenje pojedinačnih operacija i bezbednost radnika.

Integracija svih podsistema korišćenjem privatnih 5G mreža otvara mogućnost za postizanje bolje logistike sa kraja na kraj proizvodnog lanca [9], posebno korišćenjem namenskih IIoT uređaja. Kao što je već ranije naglašeno, mogućnost namenske alokacije mrežnih resursa i efikasne adaptacije različitim korisnicima i aplikacijama kroz napredne koncepte virtualizacije mrežne infrastrukture [8] je takođe jedna od ključnih prednosti privatnih 5G mreža. Primene 5G privatnih mreža su moguće i u poljoprivredi [10], gde ovakvi sistemi mogu da predstavljaju pouzdanu alternativu satelitskom navođenju i drugim tipovima upravljanja autonomnim traktorima i priključnim mašinama.

4. SIGURNOST SERVISA I MREŽE

Sigurnost implementiranih servisa u okviru privatnih mobilnih mreža ima ključnu ulogu u odlučivanju korisnika za njihovu primenu i integraciju u postojeće procese. S obzirom da su u pitanju bežične tehnologije prisutni su različiti izazovi koji se mogu sažeti u sledeće zahteve prilikom projektovanja komunikacionog sistema:

- sigurnost komunikacije, obuhvata različite aspekte pristupnih tehnologija koji se tiču postizanja poverljivosti, autentifikacije, integriteta komunikacije i izbegavanja napada koji podrazumevaju presretanje komunikacije. Navedeno obuhvata i sigurnost komunikacije na aplikativnom nivou, koja je takođe obuhvaćena različitim 3GPP preporukama.

- bezbednost sa kraja na kraj, uključuje implementaciju različitih protokola na aplikativnom nivou kao što su SSH, TLS, SRTP, kada se podrazumeva da se mrežnoj infrastrukturi ne može u potpunosti verovati. Imajući u vidu potrebu za povezivanjem različitih uređaja, moguće je da u nekim slučajevima povezivanja na obodu mreže nije uvek moguće postići potpunu bezbednost sa kraja na kraj, što zahteva da se takvim elementima unutar privatne mreže veruje i njihova sigurnost obezbedi na drugi način.

- autorizacija unutar mreže i podsistema, podrazumeva praktičnu kontrolu pristupa koja će biti lako prilagodljiva i omogućiti distribuciju odgovarajućih prava na sve elemente unutar mreže. Odgovarajući kredencijali se mogu distribuirati kroz sisteme za autorizaciju ili fizičkim putem.

- otpornost na napade i zagušenja unutar mreže, treba da omogućiti neometano funkcionisanje sistema i u slučajevima kada bi broj zahteva i opterećenje resursa prevazišlo projektovane kapacitete mreže. Navedeno uključuje i projektovanje dovoljnih kapaciteta i redundantnih veza koje uz definisanje prioriteta i detekciju napada mogu razrešiti ovakve situacije.

- bezbedna saradnja i pristup spoljašnjim elementima trećih strana, podrazumeva komunikaciju koja je zaštićena i čiji integritet može biti proveren. Takav pristup bi trebao da bude ograničen, kako u pogledu vremenskog trajanja komunikacije, tako i u pogledu dodeljenih mrežnih resursa.

- sigurnosna podešavanja i politike, obuhvataju različite procedure kojima se garantuje predviđeno ponašanje sistema i u svakom trenutku omogućava praćenje stanja elemenata u privatnoj mobilnoj mreži. Implementacija navedenih zahteva omogućava i lakšu detekciju nepredviđenih situacija i potencijalnih propusta u

konfiguraciji i korišćenju mrežne infrastrukture, a time i potencijalnih upada u sistem.

U kontekstu prethodno opisanih zahteva, posebno se ističu napadi na privatne mobilne mreže koji mogu podrazumevati neku od tehnika karakterističnih za bežične komunikacije. Navedeno uključuje elektronsko ometanje (engl. jamming) komunikacije; presretanje ili praćenje postojeće komunikacije sa ciljem lažnog predstavljanja ili pasivne analize (engl. sniffing), krađu identiteta korisnika ili elemenata mreže (engl. spoofing) sa ciljem pridobijanja prava pristupa resursima mreže ili uvida u komunikaciju, pasivno praćenje komunikacije sa ciljem identifikacije informacionih sekvenci ili paketa koji dovode do određene akcije što omogućava izazivanje iste ponovnim slanjem paketa ili poruke, bez potrebe za dekodovanjem ili dešifrovanjem iste (engl. replay attack).

5. ZAKLJUČAK

U radu su razmatrane komunikacione tehnologije i standardi na kojima se zasniva projektovanje privatnih mobilnih mreža. Takođe su diskutovane i različite primene, sa osvrtom na karakteristike privatnih 5G mreža i bezbednosne zahteve koji se postavljaju prilikom projektovanja takve vrste bežičnih sistema.

Opšti zaključak je da neće postojati jedno tehničko rešenje za sve primene. Kada se danas bavimo ranim tržištem privatnih mobilnih mreža, fokus treba da bude na rešavanju potreba u konkretnom slučaju. Na taj način razmatrani scenario primene značajno utiče na izgled odgovarajućeg tehničkog rešenja. Takođe, 5G nije samo još jedna generacija mobilnih tehnologija, koja ima za cilj povećanje brzine mreže i protoka podataka. Privatne 5G mreže nedvosmisleno predstavljaju budućnost industrijskih bežičnih mreža u narednoj deceniji [6].

Navedeni pravac razvoja će se izvesno nastaviti i sa budućim 6G tehnologijama. Sa evolucijom industrije 4.0, preduzeća i javni sektor imaju snažan interes za postavljanje privatnih 5G mreža kako bi razvili sopstvene aplikacije za postizanje bolje efikasnosti i produktivnosti. Koncept privatnih mobilnih mreža je takođe uspešno demonstrirao implementaciju naprednih mrežnih funkcija kao što su engl. network slicing i engl. edge računarstvo, čime su stvoreni uslovi za efikasne primene u različitim domenima.

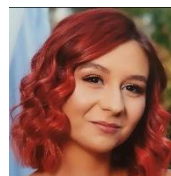
6. LITERATURA

- [1] Eswaran, S., Honnavalli, P. (2023). Private 5G networks: A survey on enabling technologies, deployment models, use cases and research directions. *Telecommunication Systems*, 82(1), 3-26.
- [2] Ferrus, R., & Sallent, O. (2014). Extending the LTE/LTE-A business case: Mission-and business-critical mobile broadband communications. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9(3), 47-55.
- [3] Wen, M., Li, Q., Kim, K. J., López-Pérez, D., Dobre, O. A., Poor, H. V., Popovski, P., Tsiftsis, T. A. (2021). Private 5G networks: Concepts, architectures, and

research landscape. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 16(1), 7-25.

- [4] Brown, G., Principal, A. (2019). Private 5G mobile networks for industrial IoT. *Heavy Reading, White Paper, Qualcomm Inc*
- [5] Bajracharya, R., Shrestha, R., Jung, H. (2020). Future is unlicensed: Private 5G unlicensed network for connecting industries of future. *Sensors*, 20(10), 2774.
- [6] Aijaz, A. (2020). Private 5G: The future of industrial wireless. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 14(4), 136-145.
- [7] Mateus P. (2024). Implementation of 5G private networks in railway communications, master rad, Instituto Superior Técnico, Univerzitet u Lisabonu.
- [8] Bojović, Ž. (2024). *Application of Network Function Virtualization in Modern Computer Environments*. Now Publishers, Boston-Delft, ISBN: 978-1-63828-358-4.
- [9] Vitturi, S., Zunino, C., Sauter, T. (2019). Industrial communication systems and their future challenges: Next-generation Ethernet, IIoT, and 5G. *Proceedings of the IEEE*, 107(6), 944-961.
- [10] Heikkilä, M., Suomalainen, J., Saukko, O., Kippola, T., Lähetkangas, K., Koskela, P., ... & Posti, H. (2021). Unmanned agricultural tractors in private mobile networks. *Network*, 2(1), 1-20.

Kratka biografija:



Milica Milošević – rođena je u Novom Sadu 1996. god. Osnovne studije elektrotehnike i računarstva na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, studijski modul Informaciono-komunikacione tehnologije i obrada signala, završila je 2021. godine. Na istom fakultetu, u okviru master akademskih studija na studijskom programu Energetika, elektronika i telekomunikacije, modul Informaciono-komunikacione tehnologije, 2024. godine uspešno je odbranila master rad.

Email: mima.milosevic96@gmail.com.



VIZUALIZACIJA CSV FAJLOVA BAZIRANA NA AWS SERVERLESS PLATFORMI VISUALIZATION OF CSV FILES BASED ON THE AWS SERVERLESS PLATFORM

Sanja Drinić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – PRIMENJENE RAČUNARSKE NAUKE I INFORMATIKA

Kratak sadržaj – U ovom master radu je opisana implementacija sistema za vizuelizaciju CSV fajlova koji prikazuju bankovne troškove kroz aplikaciju MoneyDiary. Korišćenjem AWS platforme, aplikacija omogućava analizu troškova, identifikaciju obrazaca potrošnje i praćenje finansijskih promena tokom vremena. Rad istražuje AWS arhitekturu aplikacije i tehničke aspekte implementacije, te predstavlja rezultate u pogledu efikasnosti i korisnosti vizuelizacije za finansijski menadžment.

Ključne reči: vizuelizacija podataka, AWS serverless arhitektura, CSV fajlovi, bankarske transakcije.

Abstract – This paper describes the development of a system for visualizing CSV files that represent bank expenses through the MoneyDiary application. Utilizing the AWS platform, the application enables users to analyze expenses, identify spending patterns, and track financial changes over time. The paper examines the AWS architecture of the application and its technical implementation details, presenting results on the efficiency and usefulness of this visualization for financial management.

Keywords: data visualization, AWS serverless architecture, CSV files, bank transactions.

1. UVOD

U savremenom digitalnom dobu, uz sve češću upotrebu različitih vrsta platnih kartica, kao što su kreditne, debitne i virtuelne kartice, postaje jasno da je efikasno praćenje i analiza finansijskih transakcija od velikog značaja. Kompleksni obrasci potrošnje zahtevaju efikasnu analizu troškova kako bi se uspešno upravljalo ličnim finansijama, što je motivisalo razvoj informacionog sistema "MoneyDiary", namenjenog optimizaciji upravljanja finansijama i poboljšanju finansijske stabilnosti.

Za potrebe rada razvijen je informacioni sistem „MoneyDiary“ koji korisnicima omogućava da vizualizuju finansijske podatke na mesečnom i godišnjem nivou. Proces podrazumeva da korisnici mogu jednostavno učitati svoje finansijske podatke, otpremanjem fajla u CSV formatu koji sadrži informacije o transakcijama korisnika.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miroslav Zarić, vanredni profesor.

Sistem prihvata i obrađuje podatke, a jednostavnost ovog rešenja ogleda se u mogućnosti brze i jednostavne vizualizacije finansijskih podataka, što korisnicima omogućava prepoznavanje obrazaca potrošnje, analizu troškova po kategorijama i praćenje promena kroz vreme.

Aplikacija "MoneyDiary" bazirana je na AWS serverless [1] arhitekturi. Oslanjajući se na AWS Lambda [2] funkcije za automatsku obradu CSV fajlova sa transakcijama i DynamoDB [3] za brzo i skalabilno skladištenje podataka.

1.2. Amazon Web Services

Amazon Web Services (AWS) [4] je vodeća cloud platforma koja pruža širok spektar usluga za skladištenje, obradu i analizu podataka, kao i za razvoj i pokretanje aplikacija. AWS omogućava organizacijama i pojedincima da koriste računarstvo u oblaku bez potrebe za sopstvenom infrastrukturom na globalnom nivou. AWS obezbeđuje visok nivo pouzdanosti, fleksibilnosti i sigurnosti, eliminisajući potrebu za upravljanjem fizičkom infrastrukturom. Jedna od ključnih prednosti AWS-a je njegova serverless arhitektura, koja omogućava korisnicima da se fokusiraju isključivo na razvoj aplikacija, dok AWS automatski upravlja infrastrukturom, skaliranjem i resursima.

Serverless arhitektura predstavlja model razvoja aplikacija u kojem se serveri ne upravljaju direktno od strane korisnika, već ih pružalac usluge automatski održava i skalira. Ovaj pristup predstavlja značajan napredak u odnosu na tradicionalne modele, gde je bilo potrebno ručno upravljati serverima, skalirati resurse i održavati sisteme. Pored toga, ovaj koncept smanjuje složenost upravljanja infrastrukturom i operativne troškove jer AWS automatski prilagođava resurse na osnovu zahteva aplikacije. Serverless omogućava brže iteracije, veću agilnost i efikasniju upotrebu resursa, čime se unapređuje poslovna produktivnost i ubrzava proces inovacije.

1.3. AWS Amplify

AWS Amplify [5] je sveobuhvatan set alata i usluga dizajniran za razvoj i implementaciju cloud-podržanih mobilnih i web aplikacija. Pruža različite biblioteke, komponente korisničkog interfejsa, kao i podršku za serversku stranu na AWS platformi. Pored toga, Amplify Hosting omogućava kontinuiranu isporuku i hosting, olakšavajući jednostavan i efikasan proces razvoja.

Ključna prednost AWS Amplify-a je njegova jednostavnost korišćenja, posebno putem CLI alata, koji omogućava timovima da brzo konfigurišu i upravljaju

cloud resursima. Integracija sa drugim AWS servisima omogućava izgradnju složenih aplikacija sa bogatim funkcionalnostima. Takođe, Amplify podržava više platformi, što ga čini fleksibilnim i pogodnim za raznovrsne razvojne timove, obezbeđujući skalabilnost i sigurnost.

1.4. Amazon Cognito

Amazon Cognito [6] je servis koji omogućava upravljanje korisničkim identitetima, autentifikaciju i autorizaciju u okviru web i mobilnih aplikacija. Ovaj servis omogućava bezbedno upravljanje korisničkim podacima, omogućavajući korisnicima da se registruju, prijavljuju i pristupaju različitim resursima unutar aplikacije.

Ključna prednost Amazon Cognita je podrška za različite metode autentifikacije, uključujući prijavu putem društvenih mreža kao što su Facebook i Google, kao i prilagođene opcije verifikacije putem SMS-a i e-pošte, uz podršku za multifaktorsku autentifikaciju (MFA). Ovaj servis automatski upravlja tokenima i korisničkim sesijama, značajno olakšavajući upravljanje identitetima u aplikacijama.

Amazon Cognito se lako integriše sa ostalim AWS servisima, omogućavajući razvoj skalabilnih i sigurnih aplikacija. Takođe, ovaj servis obezbeđuje visok nivo sigurnosti kroz enkripciju podataka tokom prenosa i skladištenja, koristeći TLS protokol i AWS Key Management Service, što osigurava pristup podacima samo ovlašćenim korisnicima i servisima.

1.5 Amazon API Gateway

Amazon API Gateway [7] je potpuno upravljani servis koji omogućava efikasno povezivanje klijentskih aplikacija sa serverskom stranom sistema, podržavajući izgradnju skalabilnih i robusnih aplikacija. API Gateway podržava kreiranje RESTful i WebSocket API-ja, omogućavajući aplikacijama da upravljaju zahtevima u realnom vremenu i osiguraju dvosmernu komunikaciju.

Ključna prednost Amazon API Gateway-a je njegova sposobnost automatskog skaliranja, što omogućava obradu velikog broja simultanih API poziva bez smanjenja performansi aplikacije. Pored toga, servis omogućava keširanje odgovora na API zahteve, poboljšavajući performanse i smanjujući opterećenje na serverskoj stani sistema. Takođe, podržava razvijanje verzionisanje API-ja omogućava razvoj i održavanje različitih verzija istog API-ja bez ugrožavanja postojećih aplikacija.

1.6. AWS Lambda

AWS Lambda [2] je serverless servis koji omogućava pokretanje koda kao odgovor na određene događaje bez potrebe za upravljanjem fizičkom infrastrukturom. Podržava različite programske jezike, kao što su Python, Java, Node.js, C# i Golang, pružajući fleksibilnost u izboru tehnologija. Lambda funkcije mogu biti aktivirane različitim događajima, poput promena u Amazon S3 skladištu, unosa u Amazon DynamoDB bazi podataka ili API zahteva poslatih putem Amazon API Gateway-a.

Jedna od ključnih prednosti AWS Lambda servisa je automatsko skaliranje, koje se prilagođava broju pokrenutih događaja, osiguravajući optimalnu upotrebu

resursa i smanjenje troškova. Naplaćuje se samo vreme stvarnog izvršenja koda, što ga čini ekonomičnim rešenjem za aplikacije sa promenljivim opterećenjem.

AWS Lambda integriše bezbednosne funkcije putem AWS Identity and Access Management (IAM) servisa, omogućavajući precizno upravljanje dozvolama za pokretanje funkcija i pristup drugim AWS resursima. Takođe se lako integriše sa ostalim AWS servisima, čineći ga idealnim za razvoj skalabilnih i fleksibilnih aplikacija bez potrebe za kompleksnom infrastrukturom.

1.7. Amazon DynamoDB

Amazon DynamoDB [3] je serverless NoSQL baza podataka koja pruža brze i predvidljive performanse uz beskonačnu skalabilnost. Specijalizovana je za rad sa nestrukturiranim podacima, omogućavajući skladištenje i pristup velikim količinama podataka bez potrebe za kompleksnim operacijama upravljanja bazom. Struktura podataka u DynamoDB-u je fleksibilna, jer ne zahteva definisanje šeme unapred, što omogućava lako prilagođavanje promenama u aplikacijama.

Jedna od ključnih prednosti DynamoDB-a je automatsko skaliranje, koje dinamički prilagođava kapacitet baze u skladu sa opterećenjem, omogućavajući rukovanje velikim količinama podataka bez prekida u radu ili smanjenja performansi. Takođe, podržava globalne tablice, omogućavajući replikaciju podataka u više AWS regiona za veću dostupnost i otpornost na kvarove.

Sistem je visoko bezbedan, s integrisanim mehanizmima za enkripciju podataka u miru i tokom prenosa, kao i naprednim kontrolama pristupa putem AWS Identity and Access Management (IAM) [6]. DynamoDB omogućava korisnicima da se fokusiraju na razvoj.

1.8. AWS Identity and Access Management

AWS Identity and Access Management (IAM) [6] je servis koji omogućava sigurno upravljanje pristupom AWS resursima, pružajući ključnu kontrolu nad time ko može pristupiti određenim resursima i koje akcije mogu preduzimati. IAM omogućava kreiranje i upravljanje korisničkim nalogima i grupama, definisanje detaljnih pravila pristupa, kao i kontrolu nad dozvoljenim radnjama na različitim AWS resursima.

Jedna od najvažnijih prednosti AWS IAM-a je detaljna kontrola pristupnih prava, koja omogućava da samo ovlašćeni korisnici imaju pristup specifičnim resursima i operacijama. Takođe, IAM podržava multifaktorsku autentifikaciju (MFA), čime se dodatno osigurava pristup osetljivim resursima.

AWS IAM je potpuno integrisan sa svim AWS servisima, što omogućava centralizovano i dosledno upravljanje pristupnim pravima širom cele AWS infrastrukture. Servis takođe omogućava praćenje i evidentiranje svih aktivnosti korisnika i servisa unutar AWS naloga, što doprinosi visokom nivou bezbednosti i transparentnosti.

1.9. AWS CodeCommit

AWS CodeCommit [7] je servis za kontrolu verzija koji omogućava privatno skladištenje i upravljanje Git repozitorijumima unutar AWS oblaka. Dizajniran je da

pruži fleksibilno i sigurno rešenje za kontrolu verzija, omogućavajući razvojnim timovima da efikasno sarađuju na razvoju softvera. CodeCommit podržava sve standardne Git komande, što olakšava integraciju sa postojećim alatima i razvojnim tokovima.

Jedna od ključnih prednosti AWS CodeCommit-a je visoka dostupnost i sigurnost. Podaci su automatski šifrovani tokom prenosa i dok se nalaze u okviru AWS CodeCommit-a, osiguravajući zaštitu od neovlašćenog pristupa. Pored toga, CodeCommit je skalabilan, omogućavajući timovima da upravljaju repozitorijumima bilo koje veličine, što ga čini pogodnim za razvoj kritičnih aplikacija koje zahtevaju pouzdanu i sigurnu platformu za verzionisanje koda.

1.10. Angular radni okvir

Angular [8] je jedan od najpoznatijih radnih okvira koji je razvio Google i koji je postao standard za razvoj web aplikacija. Ovaj okvir omogućava razvoj složenih i interaktivnih korisničkih interfejsa, oslanjajući se na TypeScript, jezik koji proširuje JavaScript dodavanjem tipova i naprednih funkcija.

Angular se ističe svojom modularnom arhitekturom, koja omogućava razvijanje aplikacija u lako održivim i razdvojenim modulima. Njegova značajna karakteristika je dvostrano vezivanje podataka (engl. two-way data binding), koje omogućava sinhronizaciju podataka između modela i prikaza u realnom vremenu, pojednostavljujući upravljanje stanjem aplikacije, posebno u složenim interfejsima.

Pored toga, Angular pruža robustan set alata za upravljanje formama, rutama i komunikacijom sa serverom, što ga čini idealnim za aplikacije koje zahtevaju visoku interaktivnost i brze reakcije na korisničke akcije. Angular CLI dodatno olakšava razvoj, omogućavajući jednostavno kreiranje, konfiguraciju i upravljanje projektima.

Zbog ovih karakteristika, izabrala sam Angular kao radni okvir za razvoj korisničkog interfejsa ovog informacionog sistema. Ovaj izbor omogućio je dodavanje naprednih vizuelnih komponenti, kao što su grafikoni i interaktivni elementi, čime je kreirana moderna i intuitivna web aplikacija.

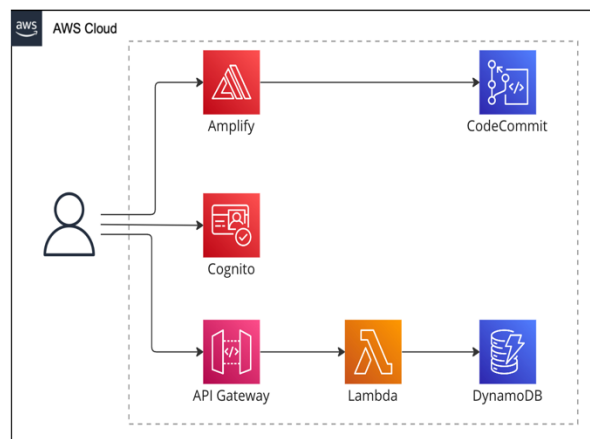
2. SPECIFIKACIJA SISTEMA

Osnovne funkcionalnosti sistema su pristup informacijama neautentifikovanim korisnicima, registracija novih korisnika, prijava i odjava, kao i vizualizaciju finansijskih podataka kroz grafičke prikaze. Sistem pruža grafički prikaz mesečnih i godišnjih transakcija, grupisanih po kategorijama i tipu, uz mogućnost poređenja troškova kroz različite vremenske periode. Takođe, omogućeno je otpremanje CSV fajlova sa bankarskim transakcijama, čime se automatizuje obrada podataka korisnika. Nefunkcionalni zahtevi odnose se na integraciju sa AWS servisima kako bi se obezbedila infrastruktura za skladištenje i obradu podataka. Pored toga, informacioni sistem vrši autentifikaciju putem JWT tokena, verifikaciju naloga putem elektronske pošte, kao i zaštita korisničkih podataka tokom prenosa i u miru. Sam korisnički sistem je

intuitivan, jednostavan za korišćenje, i prilagođen lakom snalaženju kroz aplikaciju.

3. IMPLEMENTACIJA

Informacioni sistem „MoneyDiary” je implementiran bazirajući se na naprednoj serverless arhitekturi zasnovanoj na AWS platformi, što omogućava visoku skalabilnost, pouzdanost i efikasnost u upravljanju finansijskim podacima korisnika (Slika 3.1).



Slika 3.1 Arhitektura sistema

Klijentska aplikacija je razvijena u Angular radnom okviru i hostovana pomoću AWS Amplify servisa, koji pruža kontinuiranu integraciju (CI), automatsku isporuku (CD) i jednostavnu koordinaciju s drugim AWS servisima. AWS Amplify olakšava održavanje aplikacije, omogućavajući automatsko ažuriranje i brzu isporuku novih verzija, čime se poboljšava razvojni proces i smanjuje vreme potrebno za implementaciju.

Upravljanje pristupom i sigurnošću korisničkih naloga realizovano je kroz AWS Cognito, servis koji omogućava registraciju, prijavu i verifikaciju korisnika putem email-a. AWS Cognito omogućava korisnicima sigurno upravljanje nalogima, osiguravajući da su osetljivi podaci zaštićeni na visokom nivou kroz multifaktorsku autentifikaciju (MFA) i šifrovanje podataka. Ovaj servis igra ključnu ulogu u omogućavanju sigurnog pristupa funkcionalnostima aplikacije, tako da samo ovlašćeni korisnici mogu pristupiti podacima i funkcijama unutar sistema.

Glavna poslovna logika aplikacije „MoneyDiary” implementirana je putem AWS Lambda funkcija, koje omogućavaju dinamičku obradu podataka bez potrebe za upravljanjem fizičkom infrastrukturom. AWS Lambda funkcije obrađuju različite aspekte poslovanja, kao što su učitavanje finansijskih podataka iz CSV fajlova, analiza mesečnih troškova i kategorizacija transakcija. Lambda funkcije se automatski skaliraju na osnovu opterećenja, što omogućava sistemu da efikasno odgovara na varijabilne zahteve korisnika, bez opasnosti od zagušenja ili prekida rada.

AWS API Gateway služi kao centralna tačka za komunikaciju između klijentske aplikacije i Lambda funkcija. Ovaj servis omogućava da se HTTP zahtevi iz klijentske aplikacije bezbedno preusmere na odgovarajuće Lambda funkcije, upravljajući autentifikacijom i

autorizacijom korisnika, kao i rutiranjem zahteva. API Gateway pruža visok nivo sigurnosti, omogućavajući filtriranje i kontrolu pristupa prema validnim JWT tokenima koji se izdaju putem AWS Cognito servisa.

Podaci o korisničkim transakcijama smešteni su u AWS DynamoDB, visoko skalabilnoj NoSQL bazi podataka, koja omogućava brz pristup i skladištenje velikih količina nestrukturiranih podataka. DynamoDB se posebno ističe po svojoj sposobnosti da automatski prilagođava kapacitet u skladu sa zahtevima aplikacije, obezbeđujući optimalnu brzinu odgovora čak i pod visokim opterećenjem. Organizacija podataka u DynamoDB omogućava jednostavnu pretragu i filtriranje pomoću primarnih i sekundarnih ključeva, što ubrzava obradu složenih upita, kao što su pretrage po vremenskim periodima i korisnicima.

AWS Identity and Access Management (IAM) koristi se za kontrolu pristupa svim AWS servisima unutar sistema „MoneyDiary”. IAM omogućava precizno definisanje prava pristupa i operacija koje korisnici i servisi mogu izvršavati, primenjujući princip najmanjih privilegija, čime se obezbeđuje visok nivo sigurnosti. Ova kontrola pristupa osigurava da samo ovlašćeni korisnici i servisi mogu pristupiti ključnim resursima, čime se smanjuje rizik od neovlašćenih promena ili zloupotreba podataka.

Praćenje performansi sistema i logova realizovano je putem AWS CloudWatch-a, koji omogućava detaljan uvid u rad infrastrukture i aplikacija u realnom vremenu. CloudWatch prikuplja i analizira podatke o performansama sistema, omogućavajući timovima brzo identifikovanje i rešavanje potencijalnih problema, kao i optimizaciju resursa kako bi sistem ostao visoko efikasan i pouzdan.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je razvoj informacionog sistema "MoneyDiary" za upravljanje ličnim finansijama, zasnovanog na AWS serverless arhitekturi. Opisan je način na koji sistem koristi servise poput AWS Lambda, API Gateway i DynamoDB za dinamičku obradu podataka, kao i integracija sa AWS Cognito za upravljanje korisničkom autentifikacijom. Takođe, obuhvaćeno je hostovanje klijentske aplikacije razvijene u Angular okviru putem AWS Amplify servisa.

Sistem omogućava obradu i vizualizaciju finansijskih podataka korisnika, uz visok nivo sigurnosti i pouzdanosti. Planovi za potencijalno unapređenje sistema uključuju integraciju algoritama za mašinsko učenje radi predviđanja finansijskih trendova i proširenje sistema na višejezične interfejsse kako bi se povećala globalna dostupnost. Pored toga, moguća unapređenja uključuju i proširenje integracije sa dodatnim finansijskim servisima i uvođenje naprednih metoda analize podataka.

Iako oslanjanje na AWS nosi potencijalne rizike, poput povremenih prekida u dostupnosti, važno je napomenuti da je AWS vodeći cloud provajder sa visokim standardima za sigurnost i dostupnost servisa.

5. LITERATURA

- [1] Sbarski, P. and Kroonenburg, 2017. Serverless Architectures on AWS: With Examples Using AWS Lambda
- [2] AWS Lambda
<https://aws.amazon.com/lambda/>
- [3] Amazon DynamoDB
<https://aws.amazon.com/dynamodb/resources/>
- [4] AWS Documentation
https://docs.aws.amazon.com/?nc2=h_ql_doc_do
- [5] AWS Amplify
<https://aws.amazon.com/amplify/getting-started/?nc=sn&loc=5>
- [6] AWS Identity and Access Management
<https://aws.amazon.com/iam/getting-started/?nc=sn&loc=3>
- [7] AWS CodeCommit
<https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=AWS+CodeCommit&ie=UTF-8&oe=UTF-8>
- [8] Angular
<https://angular.io>

Kratka biografija:



Sanja Drnić je rođena 10. novembra 1999. godine u Novom Sadu. Školske 2018/2019. godine upisuje osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na smeru Računarstvo i automatika. Nakon završetka osnovnih studija, na istom fakultetu upisuje master studije na studijskom programu Primenjene računarske nauke i informatika - Elektronsko poslovanje. Položila je sve ispite propisane planom i programom.

**ILUSTRACIJA PRIMENE AZURE PLATFORME I BICEP JEZIKA NA PRIMERU
APLIKACIJE ZA PLANIRANJE VREMENA I KREIRANJE IZVEŠTAJA****ILLUSTRATION OF THE USE OF THE AZURE PLATFORM AND BICEP LANGUAGE
ON A TIME PLANNING AND CREATION APPLICATION**

Jovica Josipović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – RAČUNARSTVO I AUTOMATIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu analiziraju se ključni koncepti i modeli računarstva u oblaku, uključujući prednosti i izazove njegove primene. Poseban fokus je na Infrastrukturi kao kodu (IaC), sa detaljnim pregledom korišćenog Bicep jezika. Opisane su važne Azure usluge za razvoj i upravljanje aplikacijama. Implementacija rešenja obuhvata planiranje, kreiranje izveštaja, i konfiguraciju YAML pipeline-a za automatizaciju procesa. Na kraju, rad prikazuje faze prevođenja, testiranja i objavljivanja infrastrukture i aplikacija na Azure platformi.

Ključne reči: Računarstvo u oblaku, Infrastruktura kao kod, Microsoft, Azure, Bicep, Application Service, ARM šabloni

Abstract – This paper analyzes key concepts and models of cloud computing, including the advantages and challenges of its implementation. It places special focus on Infrastructure as Code (IaC) and provides a detailed overview of the Bicep language. Important Azure services for application development and management are also described. The solution implementation includes planning, report creation, and the configuration of YAML pipelines for process automation. Finally, the paper outlines the phases of building, testing, and deploying infrastructure and applications on the Azure platform.

Keywords: Cloud computing, Infrastructure as Code, Microsoft, Azure, Bicep, Application Service, ARM templates

1. UVOD

Razvoj i upotreba računarstva u oblaku [1] značajno su promenili pristup kompanija infrastrukturi i održavanju aplikacija. Ovaj model pruža fleksibilnost, skalabilnost i ekonomičnost u upravljanju resursima. U radu se fokusiramo na implementaciju infrastrukture kao koda (IaC) kao ključne komponente automatizacije u oblaku. Posebna pažnja posvećuje se Microsoft Azure platformi i upotrebi Bicep jezika i ARM šablona. Cilj rada je demonstracija primene ovih tehnologija u aplikacijama za planiranje vremena i upravljanje zadacima.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Gordana Milosavljević, red. prof.

2. RAČUNARSTVO U OBLAKU

Računarska tehnologija u oblaku obuhvata skup računarskih usluga i resursa koji se isporučuju preko interneta. Ova tehnologija omogućava organizacijama i pojedincima da pristupe i koriste računarske resurse i usluge putem interneta. Umesto da aplikacije i podaci budu smešteni na lokalnim serverima ili ličnim računarima, računarstvo u oblaku korisnicima omogućava pristup računarskoj snazi, skladištenju i softverskim aplikacijama preko udaljenih centara podataka. Ovaj model računarstva funkcioniše na osnovu plaćanja prema stvarnoj potrošnji, gde korisnici plaćaju samo za resurse koje zaista koriste, pružajući ekonomična i skalabilna rešenja.

2.1. Modeli implementacije

Računarstvo u oblaku nudi različite modele implementacije kako bi se odgovorilo na različite potrebe poslovnih organizacija. Osnovni modeli implementacije su:

- Privatni oblak – Privatni oblak je posvećen jednoj organizaciji.
- Javni oblak – Javni oblak pruža usluge većem broju organizacija.
- Hibridni oblak – Hibridni oblak kombinuje elemente privatnih i javnih oblaka.

2.2. Modeli usluga

Računarstvo u oblaku podržava različite modele usluga [2]:

- Infrastruktura kao servis (IaaS - engl. *Infrastructure as a Service*) – pruža virtualizovane računarske resurse, kao što su virtuelne mašine, skladište i umrežavanje, omogućavajući korisnicima kontrolu nad operativnim sistemom i aplikacijama.
- Platforma kao servis – nudi platformu sa ugrađenim alatima za razvoj i usluge, omogućavajući razvojnim inženjerima da se fokusiraju na pisanje i implementaciju aplikacija bez upravljanja infrastrukturom.
- Softver kao servis (SaaS - engl. *Software as a Service*) – aplikacije su smeštene u oblaku i dostupne preko interneta na osnovu pretplate, pružajući praktičnost i eliminišući potrebu za instalacijom i održavanjem.

Glavne prednosti upotrebe računarstva u oblaku su:

- Ušteda troškova
- Skaliranje i fleksibilnost
- Pristupačnost i mobilnost
- Pouzdanost i visoka dostupnost
- Bezbednost i usklađenost.

3. INFRASTRUKTURA KAO KOD

Infrastruktura kao kod je postala revolucionarni koncept koji preoblikuje način na koji organizacije upravljaju svojom IT infrastrukturom [3]. Ovaj princip predstavlja fundamentalnu promenu u načinu razmišljanja i samom razvoju digitalne strukture jedne organizacije. Infrastruktura kao kod je pristup koji tretira elemente infrastrukture, kao što su serveri, mreže i baze podataka, kao da su softver. Ovaj pristup omogućava preduzećima da tretiraju svoju infrastrukturu kao softver, omogućavajući automatizovano i efikasno upravljanje, što na kraju dovodi do povećane produktivnosti i smanjenja operativnih troškova.

3.1. Ključni principi infrastrukture kao koda

Osnovni principi infrastrukture kao koda su:

- Deklarativna konfiguracija – IaC se oslanja na deklarativni kod koji specificira željeno stanje infrastrukture, umesto da propisuje niz koraka za ručnu konfiguraciju.
- Automatizacija – Automatizacija je srž IaC-a. Automatizuje nabavku, konfiguraciju i skaliranje resursa infrastrukture, smanjujući ljudske greške i omogućavajući brzu i pouzdanu implementaciju.
- Kontrola verzija – IaC kodom se upravlja u sistemima za kontrolu verzija kao što je Git, olakšavajući saradnju, praćenje promena i obezbeđivanje istorije zapisa konfiguracija.
- Nepromenljiva infrastruktura – IaC promoviše stvaranje novih instanci infrastrukture umesto modifikacije postojećih.

Glavne prednosti upotrebe infrastrukture kao koda su:

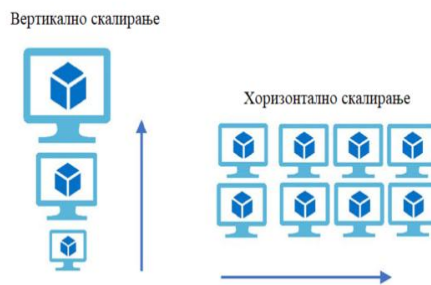
- Agilnost i brzina
- Doslednost i pouzdanost
- Optimizacija troškova
- Obnova nakon katastrofe.

3.2. Microsoft Azure servis

Azure je Microsoft-ova platforma za računarstvo u oblaku i sveobuhvatni paket usluga zasnovanih na oblaku. Azure pruža moćnu podlogu za preduzeća svih veličina, od startup-a do multinacionalnih kompanija. Jedna od izuzetnih karakteristika Azure je njegova skalabilnost. Organizacije mogu iskoristiti infrastrukturu kao uslugu i platformu kao uslugu kako bi se lako skalirale prema gore (vertikalno) ili prema dole (horizontalno) u skladu sa promenama svojih potreba. Na slici 1 dat je prikaz vertikalnog i horizontalnog skaliranja.

3.3. Tradicionalni jezici infrastrukture kao koda

Infrastruktura je definisana i upravljana pomoću koda. Postoji nekoliko tradicionalnih i popularnih jezika i alata koji se koriste za implementaciju infrastrukture kao koda [4].



Slika 1. Vertikalno i horizontalno skaliranje

Najpopularniji predstavnici su:

- Terraform
- Google Cloud Deployment Manager
- AWS CloudFormation
- Azure Resource Manager (ARM) Templates.

3.4. Bicep jezik

Bicep predstavlja Microsoft-ov jezik koji je kreiran za definisanje i implementaciju Azure resursa, pružajući jednostavniju i efikasniju sintaksu za ARM šablone. Ovaj jezik uvodi novu ekstenziju fajla, ".bicep", čime se udaljava od tradicionalnih ".json" fajlova koji se koriste za ARM šablone [5]. Putem procesa kompilacije, Bicep fajlovi se pretvaraju u ekvivalentne ARM JSON šablone, koji su potpuno usklađeni sa Azure infrastrukturom. Ovaj pojednostavljeni pristup ne samo da olakšava pisanje koda, već i poboljšava integraciju Bicep-a u Azure ekosistem, doprinoseći bržem i preciznijem upravljanju resursima. Uporedimo generalne osobine Bicep jezika i ARM šablona [6].

- Čitljivost – Bicep je poznat po poboljšanoj čitljivosti i sažetosti. Koristi deklarativnu i intuitivniju sintaksu u poređenju sa ARM šablonima, što ga čini lakšim za razumevanje i održavanje. ARM šabloni koriste sintaksu baziranu na JSON-u, koja može biti opsežna i složena. Razumevanje i modifikacija velikih ARM šablona može biti izazovno zbog obimne upotrebe JSON-a.
- Sažetost – Bicep omogućava da se definiše infrastruktura korišćenjem jezika višeg nivoa na sažetiji način. Smanjuje količinu uobičajenog koda u poređenju sa ARM šablonima. ARM šabloni, kao JSON, mogu biti opsežniji. Ova opširnost može učiniti šablone dužim i težim za čitanje, posebno kod složenih implementacija.
- Lakša upotreba – Bicep se smatra jednostavnim za upotrebu (eng. user friendly) i orijentisanim ka programerima. Njegova sintaksa je dizajnirana da bude intuitivnija, a pruža i funkcionalnosti kao što su upotreba tipova, što znatno olakšava rad. Rad direktno sa ARM šablonima može zahtevati veće razumevanje tehnologija, posebno za one manje upućene u JSON sintaksu. Debugovanje (eng. debugging) i rešavanje problema takođe mogu biti izazovni.
- Podrška za alate – Bicep ima svoj set alata i podržava funkcionalnosti kao što su pametno dovršavanje koda, isticanje sintakse i provera

grešaka. To poboljšava iskustvo razvoja. Iako postoje alati i proširenja za rad sa ARM šablonima, oni možda ne pružaju isti nivo olakšanja rada i praktičnosti kao alati za Bicep.

4. KLJUČNE AZURE USLUGE ZA RAZVOJ I UPRAVLJANJE APLIKACIJAMA

Azure nudi sveobuhvatan skup usluga koje su ključne za razvoj i upravljanje aplikacijama. Ove usluge omogućavaju da se lako grade, postavljaju i održavaju robusne, skalabilne aplikacije. Usluge koje su korišćene prilikom izrade infrastrukture su:

- Azure aplikativni servis (*engl. Application Service*) – Platforma koju nudi Microsoft Azure, omogućavajući brzo i efikasno razvijanje, implementaciju i skaliranje veb aplikacija i API-ja. Ona apstrahuje osnovnu infrastrukturu, omogućavajući inženjerima da se fokusiraju na svoj kod bez brige o upravljanju serverima ili mrežom.
- Azure skladište (*engl. Azure Storage*) – Platforma za brzo i lako skladištenje različitih vrsta podataka. Azure skladište obezbeđuje različita rešenja za skladištenje, dizajnirana da zadovolje raznovrsne potrebe poslovanja u digitalnom dobu.
- Azure trezor (*engl. Azure Key Vault*) – Omogućava bezbedno skladištenje i upravljanje osetljivim informacijama kao što su ključevi, tajne, sertifikati i web povezivanja.
- Azure monitor (*engl. Azure Application Insights*) – Obezbeđuje kompletnu uslugu za praćenje i upravljanje performansama aplikacija.

5. IMPLEMENTACIJA APLIKACIJE ZA PLANIRANJE VREMENA I KREIRANJE IZVEŠTAJA

Aplikacija “Planiranje vremena i kreiranje izveštaja” napravljena je radi pojednostavljivanja raspoređivanja zadataka, praćenje utrošenog vremena i generisanja izveštaja na efikasan i lako upotrebljiv način. Osnovne funkcionalnosti aplikacije su:

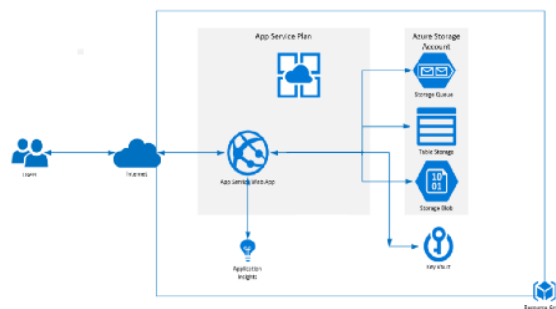
- Planiranje vremena, koje omogućava korisnicima da rasporede zadatke u određenom vremenskom periodu, vodeći računa o usklađenosti sa radnim vremenom i rokovima.
- Kreiranje detaljnih izveštaja u Excel formatu koji pokazuju koliko je vremena utrošeno na svaki zadatak, uz prikaz dnevnih detalja i sažetaka za pregled.

Aplikacija je razvijena uz pomoć C# i EPPlus biblioteke za generisanje Excel fajlova, dok se Azure Blob Storage koristi za bezbedno čuvanje i pristup generisanim tabelama. Podaci su organizovani u sledećoj strukturi:

- *Kontejneri* – Svaki korisnik ima svoj kontejner za čuvanje izveštaja.
- *Fajlovi* – Izveštaji se čuvaju u formatu Timesheet-GGGG-MM-DD.xlsx, gde svaki fajl sadrži podatke o zadacima za određeni period. Moguće je izvršiti modifikaciju imena fajla.

Logika aplikacije osigurava efikasnu dodelu zadataka i praćenje vremena u skladu sa poslovnim procesima. Na

slici 2 je prikazana arhitektura aplikacije za planiranje vremena i kreiranje izveštaja.



Slika 2. Arhitektura aplikacije za planiranje vremena i kreiranje izveštaja

5.1 YAML pipelines

YAML je format za serijalizaciju podataka koji je lak za čitanje i koristi se u Azure Pipelines za definisanje radnih tokova prevođenja i objavljivanja. YAML radni tokovi nude nekoliko prednosti:

- Kontrola verzija – Konfiguracije YAML radnih tokova mogu biti sačuvane uz izvorni kod, pružajući istoriju verzija i praćenje promena.
- Fleksibilnost – YAML omogućava složene definicije radnih tokova sa uslovnom logikom, šablonima i ponovo upotrebljivim komponentama.
- Održivost – Deklarativna priroda YAML-a olakšava razumevanje i održavanje konfiguracija radnih tokova u poređenju sa klasičnim pristupom zasnovanim na korisničkom interfejsu.

5.2 Faza infrastrukture

Kreiranje infrastrukture je ključna komponenta procesa raspoređivanja koja uključuje podešavanje i konfigurisanje neophodnih resursa u oblaku za aplikaciju. Na slici 3 je prikazana faza infrastrukture.

✓	Create Infrastructure	4m 24s
⌚	Initialize job	1s
✓	Checkout Master@main to s	7s
✓	Create Resource Group	1m 9s
✓	Create Storage Account	1m 13s
✓	Create Key Vault	54s
✓	Create App Service	56s
✓	Post-job: Checkout Master@mai...	<1s
⌚	Finalize Job	<1s

Slika 3. Faza infrastrukture

5.3 Faza prevođenja i testiranja

Faze prevođenja i testiranja su ključne komponente CI/CD pipeline-a. One osiguravaju da aplikacija bude pravilno kompajlirana i testirana, pružajući kontinuirane povratne informacije o kvalitetu koda i funkcionalnosti. Na slici 4 je prikazana faza prevođenja i testiranja.

▼	Build and Test .NET Application	1m 49s
✓	Initialize job	1s
✓	Checkout Master@main to s	4s
✓	Restore NuGet packages	1m 10s
✓	Build the project	15s
✓	Run unit tests	1s
✓	Run unit tests	8s
✓	PublishTestResults	6s
✓	Post-job: Checkout Master@mai...	<1s
✓	Finalize Job	<1s

Slika 4. Faza prevođenja i testiranja

5.4 Faza objavljivanja

Faza objavljivanja je proces postavljanja aplikacije u produkciono okruženje, omogućavajući korisnicima pristup novim funkcijama i poboljšanjima. Na slici 5 je prikazana faza objavljivanja.

▼	Deploy .NET Application	1m 45s
✓	Initialize job	3s
✓	Checkout Master@main to s	4s
✓	Publish the project	1m 0s
✓	List files in publish directory	2s
✓	Zip files in container	13s
✓	Deploy to App Service	20s
✓	Post-job: Checkout Master@mai...	<1s
✓	Finalize Job	<1s

Slika 5. Faza objavljivanja

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je detaljno, u edukativne svrhe, obrađena Azure platforma, a u svrhu ilustracije njene upotrebe, napravljena je i detaljno prikazana aplikacija za planiranje vremena i kreiranje izveštaja. Ovaj projekat pokazuje kako savremeni alati u oblaku i tehnologije, uz pravilno upravljanje infrastrukturom i razvojnim procesima, doprinose izgradnji sigurnih, stabilnih i skalabilnih aplikacija koje lako odgovaraju na zahteve savremenog poslovanja.

Dalji razvoj aplikacije obuhvata poboljšanje korisničkog interfejsa aplikacije i bolje korisničko iskustvo. Planira se integracija novih Azure alata za bolju obradu podataka i prediktivno planiranje.

7. LITERATURA

- [1] Edge, Fog i Cloud računarstvo, <http://csl.ftn.kg.ac.rs/edge-cloud/>
- [2] Cloud Stack Consideration: Choosing Between SaaS, PaaS, and IaaS. <https://www.bcsconsultants.com/blog/saas-paas-iaas/>, 2016.
- [3] Microsoft Learn - What is infrastructure as code (IaC)? <https://learn.microsoft.com/en-us/devops/deliver/what-is-infrastructure-as-code>, 2022.
- [4] Saurabh Dashora - Infrastructure as Code vs Traditional Infrastructure, <https://progressivecoder.com/infrastructure-as-code-vs-traditional-infrastructure/>, 2023.
- [5] Thomas Thornton - Bicep for Azure – The Future of Infrastructure as Code, 2022
- [6] Ritesh Modi - Infrastructure as Code with Azure Bicep, Packt Publishing, 2022.
- [7] Kief Morrison - Infrastructure as Code: Managing Servers in the Cloud 1st Edition, O'Reilly Media, 2016.

Kratka biografija:



Jovica Josipović rođen je 4.9.1997. u Prijedoru, BiH. Završio je osnovne akademske studije 2020. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Upisao je master studije iste godine, studijski program Računarsvo i automatika - Elektronsko poslovanje.



ИЗРАДА НАПРЕДНОГ *ETHERNET* АДАПТЕРА ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ И
ПРИКЉУЧЕЊЕ ЕЛЕКТРОНСКИХ СИСТЕМА НА *LAN* МРЕЖУ
HARDWARE DESIGN OF THE ADVANCED ETHERNET ADAPTER BOARD
FOR VERIFICATION AND CONNECTING ELECTRONIC SYSTEMS TO LAN

Милош Окановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом завршном раду описан је комплетан поступак развоја једног хардверског производа од анализе или креирања спецификација и цртања електричне шеме до *PCB* дизајна и фабрикације. Такође, описана је технологија четворослојних штампаних плочица, њихова примјена и предности, као и примјена за израду овог производа.

Кључне речи: развој хардвера, *PCB* дизајн, *Ethernet*, контролисана импеданса, *STM32*, *UART*, *SPI*, *I²C*, *SMBus*, *MDIO*, четворослојне штампане плочице

Abstract – This paper describes the complete cycle of a hardware product development from analyzing or writing its specification and schematic capture to *PCB* design and manufacturing. Also, the paper describes the technology of fabricating 4-layer boards, what they're used for and their advantages, as well as their implementation in developing this device.

Keywords: hardware development, *PCB* design, *Ethernet*, controlled impedance, *STM32*, *UART*, *SPI*, *I²C*, *SMBus*, *MDIO*, 4-layer *PCBs*

1. УВОД

Развој хардверског производа је сложен процес који се одвија у неколико етапа. Свака етапа директно утиче на следећу. Прва етапа представља темељну анализу система чију функционалност производ треба да спроводи. Под овим се подразумева растављање система на подблокове, вршење неопходних прорачуна за сваки блок и одабир одговарајућих компоненти. Ова етапа је кључна, јер и најмања грешка резултује у нефункционалном производу, а ако се не открије одмах, представља огроман проблем за временске и новчане ресурсе. Следећа етапа подразумева превод подблокова у њихову електричну репрезентацију цртањем електричне шеме система. Након тога, ради се физички дизајн производа. На крају, генеришу се излазни фајлови за фабрикацију. Под хардверским производом се у овом случају мисли на штампању електронску плочицу (енг. *Printed Circuit Board*).

НАПОМЕНА:

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

Данас постоји мноштво *ECAD* алата (енг. *Electronic Computer Aided Design*) који доста олакшавају овај процес и минимизирају грешке аутоматизујући многе кораке. Неки од најпопуларнијих алата су *Altium Designer*, *OrCAD*, *KiCad* и *Eagle*. У овом раду коришћен је *KiCad 8.0* који је најпопуларнији бесплатни алат и типа је отвореног кода (енг. *open source*).

Хардверски производ у овом раду представља напредни *Ethernet* адаптер који омогућава другим микроконтролерски или микропроцесорски-базираним системима који немају *Ethernet* функционалност да се повежу на *LAN* мрежу ради верификације, конфигурисања, развоја апликација или неких других специфичних акција. Ово је омогућено преко неколико стандардних комуникационих протокола који се користе у микроконтролерским и ембедед (енг. *embedded*) системима. Стога, уређаји који посједују *UART* (енг. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) или *SPI* (енг. *Serial Peripheral Interface*) или *I²C* (енг. *Inter-Integrated Circuit*) су компатибилни за повезивање на систем. Повезивање са РС-ем се остварује преко *100BASE-TX* протока, односно *Fast Ethernet-a*, а као *Ethernet MAC* (енг. *Media Access Controller*) се користи *STMicronics-ов STM32F107VCT6* микроконтролер из *Connectivity Line* серије. Као *Ethernet* физички слој, односно спрега између њих, користи се *Microchip-ов LAN8720A PHY* примопредајник (енг. *transceiver*).

Штампана плочица која репрезентује овај уређај дизајнирана је у четворослојној технологији. Четворослојне плочице, поред двослојних и вишеслојних, су најзустепљенији тип штампаних плочица, понајвише у потрошачкој електроници и нуде многобројне функционалности.

2. ЧЕТВОРОСЛОЈНЕ ШТАМПАНЕ ЕЛЕКТРОНСКЕ ПЛОЧИЦЕ

2.1. Структура

Као што се види на слици 1, четворослојне штампане плочице се састоје од четири бакарна слоја (енг. *copper foil*) међусобно одвојена слојевима од материјала са диелектричним својствима. Улога ових материјала је да изолују слојеве једне од других и заштите их од могућих кратких спојева што би плочицу учинило нефункционалном. Такође, улога им је и да, тако рећи, усендвиче бакарне слојеве једне уз друге. Горњи и доњи бакарни слој се налазе споља. Затим, симетрично, испод и изнад налази се слој препрег

материјала на којег налијежу унутрашњи слојеви. Између унутрашњих слојева, у центру плочице, такође се налази изолациони материјал који представља језгро плочице (енг. *core*). Језгро је дебље од препрег слојева. Конекција међу бакарним слојевима се врши помоћу бушених рупица, виа (енг. *vias*). Вије су такође од бакра и углавном су пробушене кроз читаву плочицу (енг. *through hole vias*), а могу бити и укопане у унутрашњости (енг. *blind* или *buried vias*) и својствене су вишеслојним плочицама (више од четири слоја) које покривају много комплексне дизајне. Компоненте је могуће поставити и на горњу и на доњу страну плочице ако комплексност система то захтјева или ако је димензија плочице ограничавајући фактор. Независно од броја бакарних слојева, штампане плочице могу бити чврсте (енг. *rigid PCBs*) и флексибилне (енг. *flex PCBs*) структуре.



Слика 1. Интерна структура четворослојне штампане плочице

2.2. Употреба

Појавом и развојем нових и комплексних интерфејса који захтјевају већу фреквенцију и брзину протока сигнала дошло је до усложњавања штампаних плочица у смислу повећања слојева да би се могле испратити карактеристике тих интерфејса. Код четворослојних плочица, читави слојеви могу служити као извор напајања или маса (енг. *GND*), док су остали резервисани само за сигнале. Могуће су различите комбинације у зависности од циља и потреба. Значи, много је више могућности него са двослојним плочицама. Четворослојне плочице омогућавају краћу повратну путању сигнала (енг. *return path*) и краћу струјну петљу (енг. *current loop*) што је врло битно за веома брзе сигнале и интерфејсе са становишта интегритета сигнала. Такође, супериорније су са становишта електромагнетске интерференције и компатибилности (*EMI* и *EMC*), јер адекватном организацијом слојева се може редуковати емитовање или зрачење сметњи, али и повећати имуност на исте. Поред ових критичнијих ствари, још омогућавају гушћи распоред компоненти резултирајући у компактнијем дизајну. Нпр. *Ethernet*, у зависности од верзије и комплексности система, захтјева минимално четворослојну организацију.

2.1. Типични распореди слојева

Signal – Ground – Ground – Signal

Два интерна слоја масе се имплементирају да би подржала рутирање водова који преносе брзе дигиталне сигнале који се простиру и на горњем и на доњем слоју и захтјевају контролу импедансе. На тај начин оба сигнална слоја имају униформну референтну

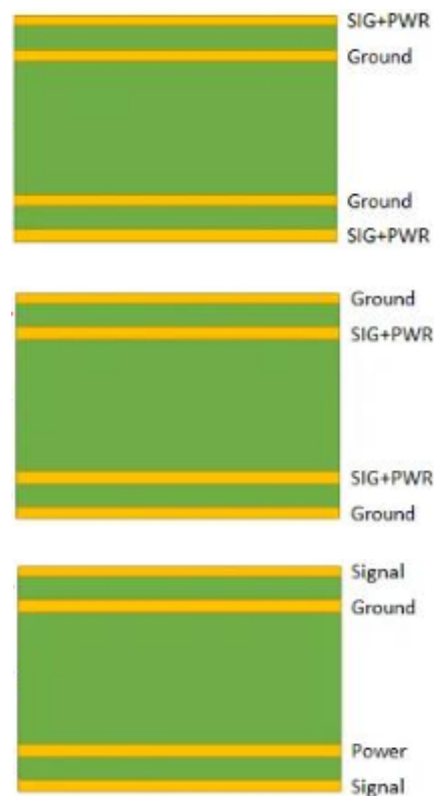
раван масе тик до њих. То је разлог зашто многе матичне плоче користе управо овај распоред. То што нема посебног слоја за напајање није проблем, јер напајање не захтјева увијек засебан слој. Напајање се може изрутирати на површинским слојевима такође као водови или као велики изливи бакра (енг. *copper pours*) који заправо представљају веома дебеле водове. Избор зависи од конкретних напонских и струјних потреба.

Ground – Signal – Signal – Ground

Овај распоред представља инверзију претходног са сигналним слојевима у унутрашњости. Овакав распоред није добра опција за рутирање брзих сигнала зато што је велика шанса за појавом преслушавања између сигнала унутрашњих слојева. Али, два вањска слоја представљају одличну заштиту од спољашњих сметњи. Сходно томе, овај распоред је добра опција за неке специјализоване нискошумне системе, као што су аналогни системи који захтјевају веома низак спољашњи шум за несметано функционисање.

Signal – Ground – Power – Signal

Трећи слој у оваквом распореду може представљати једну униформну равну одређеног напонског нивоа или више напонских нивоа расподјељених преко одвојених равни. Главни разлог коришћења оваквог распореда је лака доступност напајања за различите сигналне секције. Због читавог слоја резервисаног за напајање, доњи слој неће бити погодан за веома брзе сигнале због ставки изложених раније. Међутим, кроз је у реду искористити овај слој за рутирање споријих сигнала и осталих мање приоритетних секција које не морају бити на горњем слоју.



Слика 2. Типични распореди слојева за четворослојне плочице

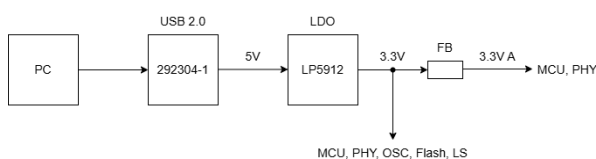
3. ОПИС УРЕЂАЈА

Напредни *Ethernet* адаптер се састоји из неколико секција. То су:

- Секција за напајање плочице и потребних модула
- Секција за *Ethernet*
- Секција за микроконтролер и периферије
- Секција за *UART* комуникацију
- Секција за *SPI* комуникацију
- Секција за *I²C* комуникацију
- Секција за *SMBus* комуникацију
- Секција за *MDIO* комуникацију

3.1. Секција за напајање

На слици 3 приказана је блок шема напајања уређаја.

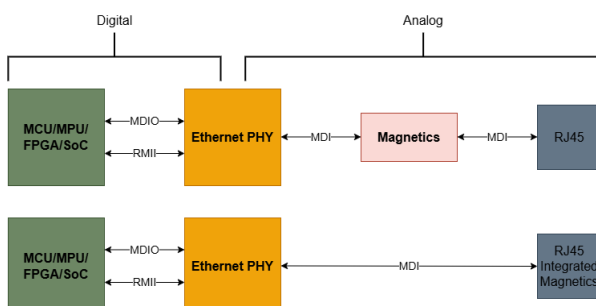


Слика 3. Блок шема напајања уређаја

Секција за напајање је задужена за генерисање локалног напајања за компоненте на плочици. Радни напон свих компоненти је 3.3V или је у опсегу којем тај ниво припада, тако да се врши генерисање само тог локалног напајања што чини систем једноставним са становишта броја компоненти и простора за ову секцију плочице. Плочица се напаја са рачунара преко *USB 2.0* протокола по чијим спецификацијама његов *VBUS* напон је 5V којег је потребно спустити на 3.3V. Ту функционалност обавља *LDO* регулатор напона. Спущени напон обезбјеђује напајање за микроконтролер, примопредајник, осцилаторско коло, меморију и помјераче напона. Додатно се врши филтрација тог напона у циљу напајања осјетљивијих, аналогних, секција на микроконтролеру и примопредајнику.

3.2. Секција за *Ethernet*

На слици 4 је приказана блок шема за *Ethernet*



Слика 4. Блок шема *Ethernet* функционалности

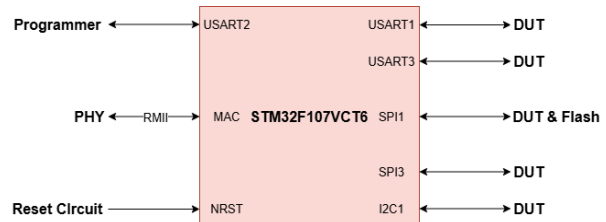
Приликом имплементације *Ethernet* функционалности на штампаној плочици неопходно је на одређен начин исповезивати блокове који су приказани на слици 3.4.1. Као што је раније речено, *Ethernet PHY* је уређај који предстаља *Ethernet* физички слој унутар *OSI* (енг. *Open Systems Interconnection*) модела и служи као спрега

између дигиталне и аналогне стране. *MAC* може бити интегрисан унутар микроконтролера, микропроцесора, *FPGA*-а (енг. *Field Programmable Gate Array*) или *SoC*-а (енг. *System on Chip*). Комуникација између њега и примопредајника се одвија преко *MII* (енг. *Medium Independent Interface*) интерфејса и *MDIO* (енг. *Management Data Input/Output*) комуникације. Ово представља дигитални дио. С друге стране, комуникација са *RJ45* конектором се одвија преко *MDI* (енг. *Medium Dependent Interface*) интерфејса. Ова комуникација је реализована преко диференцијалних парова чији број зависи од *Ethernet* типа. У овом случају то је *100BASE-TX* протокол који се преноси преко два диференцијална пара. Црвени блок на првом блоку дијаграму зове се *Ethernet Magnetics*. Магнетика је реализована преко трансформатора и улога јој је галванска изолација. Један трансформатор је за предајни пар, док је други за пријемни. Помоћу ње се остварује електрична изолација, већи фактор потискивања заједничког сигнала, изједначавање импедансе и бољи *EMC* учинак. Постоје два приступа дизајнирања са становишта магнетике. Један је коришћење магнетике у оквиру засебног интегрисаног кола и као таква дефинише се као дискретна. Представља компликованији приступ и уноси додатну компоненту у систем. Други је коришћење *RJ45* конектора са интегрисаном магнетиком унутар њега, тзв. *MagJack*, и тада се дефинише као интегрисана. Ово у многоме поједностављује дизајн и одлично је рјешење ако је плочица просторно ограничена. Систем описан у овом раду је реализован са интегрисаном магнетиком.

У овом раду *MAC* је обезбјеђен од стране *STM32F107VCT6* микроконтролера. *Ethernet PHY* примопредајник је *LAN8720*. *RJ45* конектор је *RJMG1BD3B8K1ANR* са интегрисаном магнетиком. Конектор посједује зелену и жуту *LED* за индикацију брзине и активности комуникације.

3.3. Секција за микроконтролер и комуникационе интерфејсе

На слици 5 је приказана блок шема микроконтролера са комуникационим интерфејсима које уређај користи.



Слика 5. Микроконтролер и комуникациони интерфејси

Комуникациони интерфејси су доступни преко стандардног конектора за штампане плочице са размаком ножица од 2.54 милиметра. Сваки комуникациони интерфејс обезбјеђује два канала за комуникацију.

4. ФИЗИЧКИ ДИЗАЈН ETHERNET АДАПТЕРА

Распоред слојева за ову плочицу је **Signal – Ground – Power – Signal**. Разлог зашто је одабран овај распоред, а не **Signal – Ground – Ground – Signal**, је тај што систем није толико компликован да захтјева рутирање брзих и критичних сигнала на обе стране плочице. На овај начин трећи слој је искоришћен за дистрибуцију напајања које је онда лако доступно за све компоненте, а и горњи слој се не компликује рутирањем напајања. *RMI* сигнали се третирају као најкритичнији и испоштовано је да имају референтни слој масе на другом слоју.

На слици 6 је приказана конструкција штампане плочице овог уређаја. Дебљина плочице је 1.6 милиметара.

Layer	Material Type	Thickness	
Layer	Copper	0.035mm	
Prepreg	3313*1	0.094mm	
Inner Layer	Copper	0.0152mm	
Core	Copper	1.265mm	1.3mm (with copper core)
Inner Layer	Copper	0.0152mm	
Prepreg	3313*1	0.094mm	
Layer	Copper	0.035mm	

Слика 6. Распоред и дебљина слојева

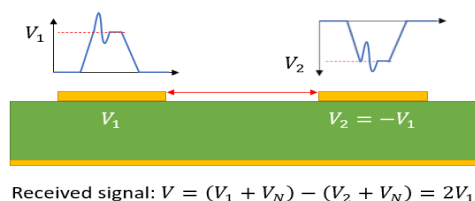
4.1. Контролисана импеданса

Интерфејс између микроконтролера и приморедајника се реализује са водовима чија импеданса треба да буде 50Ω. То се постиже контролом импедансе.

Контролисана импеданса је карактеристична импеданса трансмисионих линија на штампаној плочици и врло је важна за пропагацију високо-фреквентних сигнала. Униформна контрола импедансе директно утиче на интегритет сигнала осигуравајући глатак пренос сигнала са извора до одредишта без значајне дисторзије. Пропагацијом сигнала кроз водове преноси се енергија са драјвера сигнала до пријемника. Да би се енергија квалитетно преносила потребно је остварити одређен однос између својстава супстратних материјала и димензија водова да би се добила специфична вриједност или опсег импедансе. На контролу импедансе утиче директно ширина самог вода и својства материјала штампане плочице.

4.2. Диференцијални пар

Интерфејс између примопредајника и *RJ45* конектора се реализује преко два диференцијална пара карактеристичне импедансе 100Ω.



Слика 7. Диференцијални пар на штампаној плочици

У Диференцијални пар се састоји од два вода која преносе сигнал исте амплитуде али обрнутог поларитета изнад униформне масе као референтног слоја. Главно својство диференцијалног пара је елиминација заједничког шума од стране пријемника.

То је зато што оба вода диференцијалног пара накупе једнаку амплитуду шума различитог поларитета. Ово својство чини диференцијални пар имунијим на сметње које уноси шум у односу на једнострани (енг. *single-ended*) вод. Самим тим интегритет сигнала је бољи па је диференцијални пар сада стандардна употреба у брзим комуникационим интерфејсима, па и *Ethernet*-у.

5. ЗАКЉУЧАК

Напредни *Ethernet* адаптер представља компактан и функционалан уређај погодан за развој разних *embedded* апликација. Због разних интерфејса који га окружују, могуће је повезати већи број различитих уређаја на мрежу ради креирања комплекснијих апликација са већим бројем улазних и излазних параметара. Комбинација уређаја је велика. Једна од могућих примјена би била комуникација са различитим сензорима или штампаним плочицама са колима за обраду сигнала са сензора, те њиховим слањем преко мреже на неку рачунарску платформу или сервер. Уређај би могао и да се инсталира у неко кућиште и тако интегрише у неки *black box* уређај или да буде самосталан у њему.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] STM32F107VCT6 Datasheet [[Connectivity line, ARM®-based 32-bit MCU with 64/256 KB Flash, USB OTG, Ethernet, 10 timers, 2 CANs, 2 ADCs, 14 communication interfaces \(st.com\)](#)]
- [2] AN2586 Application Note [[Getting started with STM32F10xxx hardware development - undefined](#)]
- [3] LAN8720A/LAN8720Ai Datasheet [[LAN8720A/LAN8720Ai Datasheet \(microchip.com\)](#)]
- [4] AN1120 [[Ethernet Theory of Operation \(microchip.com\)](#)]
- [5] Layout Considerations for Pulse Ethernet Magnetics and Ethernet Connector Modules [[Pulse Layout-Considerations-v7.pdf \(pulseelectronics.com\)](#)]
- [6] Technical Note TN266 [[022-0137_F.fm \(digi.com\)](#)]

Кратка биографија:

Милош Окановић рођен је 1998. године у Суботици. Завршио је Гимназију "Свети Сава" у Приједору 2017. године. Факултет техничких наука у Новом Саду уписао је 2017. године. Дипломски рад под називом *Електронски систем за бeжичну контролу освјетљености и температуре боје LED сијалице* одбранио је 2022. године.

UDK: 621.38

DOI: <https://doi.org/10.24867/32BE5Okanovic>

UTICAJ ZASIĆENJA NA INDUKTIVNOSTI SINHRONE MAŠINE SA STALNIM MAGNETIMA**IMPACT OF SATURATION ON THE INDUCTANCES OF A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINE**Miljana Naumov, Dejan Jerkan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je obrađen linearni magnetski model sinhronne mašine sa stalnim magnetima i naznačeni su njegovi nedostaci. Zatim je predstavljen nelinearni magnetski model čije induktivnosti nisu konstantne vrednosti, već zavise od struje, a u detaljnijim razmatranjima se uvažavaju i sprežne induktivnosti. Ove vrednosti induktivnosti se dobijaju pomoću metode zamrznutih permeabilnosti koja je implementirana u sklopu numeričkih FEA simulacija. Na kraju rada su priloženi rezultati pomenutih simulacija.

Ključne reči: Metoda konačnih elemenata, sinhrona mašina sa utisnutim stalnim magnetima, induktivnosti

Abstract - The paper addresses the linear magnetic model of a permanent magnet synchronous machine and highlights its shortcomings. Then, a nonlinear magnetic model is presented, where the inductances are not constant values but depend on the current, and in more detailed analyses, mutual inductances are also considered. These inductance values are obtained using the frozen permeability method, which is implemented within numerical FEA simulations. The results of the mentioned simulations are provided at the end of the paper.

Keywords: Finite Element Method, Internal Permanent Magnet Synchronous Machine, Inductances

1. Uvod

U ovom radu biće obrađen tip sinhronne mašine sa utisnutim stalnim magnetima (engl. *IPMSM*). Utisnut stalni magneti značajno smanjuju količinu gvožđa u podužnoj osi što čini da je induktivnost po podužnoj osi L_d mnogo manja od induktivnosti po poprečnoj osi dq koordinatnog sistema.

Ovim se kod *IPMSM* javlja izražena zavisnost induktivnosti statora od ugla rotora koja dovodi do pojave relativno velikog reluktantnog momenta. Posledica ove konstrukcijske osobine je da *IPMSM* generiše dva tipa momenta (osnovni i reluktantni).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio dr Dejan Jerkan, vanr. prof.

Upravljanje *IPMSM* zbog mogućnosti razvijanja reluktantnog momenta unosi dodatni zadatak kontrolnom sistemu u vidu proračuna optimalnog ugla vektora struje statora u odnosu na osu magnetu za koji se dobija maksimalni odnos razvijenog momenta i amplitude struje (*MTPA*, *MAPT* algoritmi). Da bi se pomenuti algoritmi efikasno implementirali ključne su tačne vrednosti induktivnosti koje će biti dobijene pomoću metode konačnih elemenata (engl. *Finite Element Analysis - FEA*). U većini slučajeva vrednosti ovih induktivnosti se uzimaju kao konstantne, međutim na kraju ovog rada biće prikazano da one to ipak nisu. Kada se uvaži promenljivost induktivnosti, dobija se kvalitetnija kontrola kojom se postižu maksimalne performanse i doprinosi većoj efikasnosti.

2. Linearni magnetski model IPMSM

Jednostavnost i upotrebljivost linearnog magnetskog modela preko konstantnih parametara je široko rasprostranjena, dok je definiciona forma kojom je uobičajno dat:

$$\psi_{sd} = L_d \cdot i_{sd} + \psi_{PM} \quad (1)$$

$$\psi_{sq} = L_q \cdot i_{sq} \quad (2)$$

gde su:

L_d, L_q – sinhronne rasipne induktivnosti po podužnoj d i poprečnoj q osi namotaja statora, respektivno;
 ψ_{PM} – fluksni obuhvat uzrokovan postojanjem stalnih magnetu na rotoru.

Konstantni parametri induktivnosti u jednačinama (1) i (2) ne uvažavaju efekte zasićenja magnetskog kola mašine koji se neminovno javljaju pri većim strujama opterećenja, tako da ovakav model može biti prihvatljivo tačan u oblasti malih opterećenja, na primer kod pogona električnog vozila.

Model postaje precizniji kada se uvažuje međuinduktivnosti koje su posledica činjenice da i ψ_{sd} i ψ_{sq} dele isti magnetni put preko jarma mašine.

$$\psi_{sd} = L_d \cdot i_{sd} + L_{dq} \cdot i_{sq} + \psi_{PM} \quad (3)$$

$$\psi_{sq} = L_q \cdot i_{sq} + L_{qd} \cdot i_{sd} \quad (4)$$

gde su:

L_{dq}, L_{qd} – međusobne induktivnosti po podužnoj d i poprečnoj q osi namotaja statora, respektivno.

Dodatno model može uvažiti i pojavu fluksnog obuhvata stalnih magneta u poprečnoj, q osi. Iako je ovo neuobičajna pojava koja se retko modeluje, ona postoji takođe usled međusobne uvezanosti magnetnih osa. Tada se prethodni model može dodatno modifikovati kao:

$$\psi_{sd} = L_d \cdot i_{sd} + L_{dq} \cdot i_{sq} + \psi_{PMd} \quad (5)$$

$$\psi_{sq} = L_q \cdot i_{sq} + L_{qd} \cdot i_{sd} + \psi_{PMq} \quad (6)$$

gde su:

ψ_{PMd} – fluksni obuhvat u d osi uzrokovan postojanjem stalnih magneta na rotoru;

ψ_{PMq} – fluksni obuhvat u q osi uzrokovan postojanjem stalnih magneta na rotoru.

3. Nelinearni magnetski model *IPMSM*

Kako bi se uvažio uticaj efekata saturacije magnetskog kola mašine moguće je modifikovati prethodno definisane linearne magnetske modele tako da se dobijaju sledeći oblici modela:

$$\psi_{sd} = L_d(i_{sd}, i_{sq}) \cdot i_{sd} + \psi_{PM}(i_{sd}, i_{sq}) \quad (7)$$

$$\psi_{sq} = L_q(i_{sd}, i_{sq}) \cdot i_{sq}, \quad (8)$$

koji sad predstavlja nelinearan model koji uvažava promenu sinhronu rasipne induktivnosti po d i q osi namotaja statora usled efekata samosaturacije i međusaturacije usled promenljivih vrednosti struja statora (i_{sd}, i_{sq}). Konačan nelinearan magnetski model *IPMSM* ima oblik:

$$\psi_{sd} = L_d(i_{sd}, i_{sq}) \cdot i_{sd} + L_{dq}(i_{sd}, i_{sq}) \cdot i_{sq} + \psi_{PMd}(i_{sd}, i_{sq}) \quad (9)$$

$$\psi_{sq} = L_q(i_{sd}, i_{sq}) \cdot i_{sq} + L_{qd}(i_{sd}, i_{sq}) \cdot i_{sd} + \psi_{PMq}(i_{sd}, i_{sq}) \quad (10)$$

4. Metoda zamrznutih permeabilnosti

Glavni problem koji rešava ova specijalna metoda vezan je za nelinearnost magnetskih kola električnih mašina, odnosno nedostatak dovoljno efikasnih i kavalitetnih metoda za kvantifikovanje doprinosa različitih izvora magnetskog polja u okviru rezultatnog magnetskog polja mašine. Pomenuto se takođe odnosi na

nelinearne funkcije magnetskih modela *IPMSM*, kao što su fluksni obuhvati prikazani u jednačinama (7) i (8). Konvencionalni magnetski modeli koriste jednoznačno razdvajanje ekscitacionih komponenata fluksnih obuhvata gde se metoda superpozicije primenjuje na nelinearan sistem, što zasigurno dovodi do nedovoljno tačnih magnetskih modela.

Metoda zamrznutih permeabilnosti se koristi u numeričkim *FEA* simulacijama radi razdvajanja doprinosa različitih izvora pobude unutar ukupne (rezultantne) vrednosti fluksnog obuhvata električne mašine. Osnovna ideja za primenu tehnike zamrznutih permeabilnosti u svrhu dobijanja visoko preciznog magnetskog modela *IPMSM* biće objašnjena u nastavku.

Ova metoda koristi se u svrhu dobijanja stvarnih zavisnosti induktivnosti od struja, kroz numeričke proračune kojima se pokriva široki opseg mogućih radnih režima mašine na kojoj se metoda primenjuje. U ovu svrhu, algoritam prvo implementira nelinearnu *FEA* simulaciju sa zadatim vrednostima dq struja u kojoj sve ekscitacije u mašini deluju istovremeno. Rezultat opisane simulacije jeste raspodela magnetskog polja identična onoj u realnim pogonskim uslovima mašine sa istim zadatim vrednostima dq struja. Nakon toga, naredni i ključni korak metode zamrznutih permeabilnosti sastoji se u čuvanju ("zamrzavanju") vrednosti relativne magnetske permeabilnosti svakog konačnog elementa u okviru celokupnog magnetskog kola *IPMSM*.

Magnetsko kolo sa zamrznutim permeabilnostima modelovano softverom na bazi analize konačnih elemenata sada postaje magnetski linearno, pa se doprinosi različitih pobuda unutar mašine mogu posmatrati odvojeno.

Potom su po algoritmu izvedene dve nezavisne *FEA* simulacije na linearnom modelu magnetskog kola. U prvoj simulaciji posmatra se samo doprinos dq struja tako što se uticaj stalnih magneta zanemaruje zamenjivanjem njihovog prostora u modelu mašine permeabilnošću vazduha. Na opisani način moguće je precizno razdvojiti uticaje dq struja na fluksne obuhvate pri čemu su magnetski uslovi u mašini jednaki kao i kod mašine u kojoj podjednako deluju svi izvori pobude. U drugoj *FEA* simulaciji određuje se uticaj delovanja samo stalnih magneta podešavanjem struja u d i q osi tako da one budu jednake nuli.

5. Primer izračunavanja induktivnosti

Primer izračunavanja induktivnosti biće prikazan na modelu sinhronu mašine sa utisnutim stalnim magnetima koja ima parametre date u tabeli 1.

Induktivnosti dobijamo na osnovu sledećih izraza:

$$L_d = \frac{\Psi_{sd}(i_{sd} = 1A, i_{sq} = 0A)}{i_{sd}}, \quad (11)$$

$$L_q = \frac{\Psi_{sq}(i_{sd} = 0A, i_{sq} = 1A)}{i_{sq}}$$

$$L_{dq} = \frac{\Psi_{sd}(i_{sd} = 0A, i_{sq} = 1A)}{i_{sq}}, \quad (12)$$

$$L_{qd} = \frac{\Psi_{sq}(i_{sd} = 1A, i_{sq} = 0A)}{i_{sd}}$$

Dati su i osnovni nazivni i dimenzioni podaci kao i tipovi materijala korišćeni za samu izradu odabrane IPMSM. Ovaj tip IPMSM se koristi u aplikaciji električne vuče i ima konfiguraciju magneta koji su ukopani u „V“ oblik (engl. *V shape configuration*) gde su efekti nelinearnosti izuzetno izraženi.

Tabela 1

Parametar	Vrednost	Parametar	Vrednost
Osnovna snaga (sl)	4,4 kW	Broj žlebova na statoru	36
Nominalni napon	48 V	Dužina lim paketa	80 mm
Nominalna struja	390 A	Broj polova	8
Režim rada	S2-60 min	Frekvencija	66.66 Hz
Stator spoljna dimenzija	175 mm	Širina vazdušnog zazora	0.5 mm
Stator unutrašnja dimenzija	110 mm	Dimenzije magneta	2 x (4 x 10) mm
Rotor spoljna dimenzija	109 mm	Materijal magneta	N35UH
Rotor unutrašnja dimenzija	33 mm	Materijal feromagnetskog jezgra	M250-35A

Induktivnost po d osi u funkciji struja i_{sd} i i_{sq} biće prikazana na slici 1. Ono što se prvo može uočiti jeste da je oblik grafika simetričan u odnosu na q osu, što je i očekivano, sa aspekta činjenice da su magneti postavljeni u d osi i da magnetski put po njoj nije konzistentan kao u slučaju q ose. Postoji tačka u kojoj induktivnost L_d dostiže svoj maksimum i to je pri struji i_{sd} od oko 150A, dok je struja i_{sq} na nultoj vrednosti. U slučaju kada obe struje imaju vrlo velike negativne vrednosti, opet dolazi do zasićenja samo u suprotnom smislu.

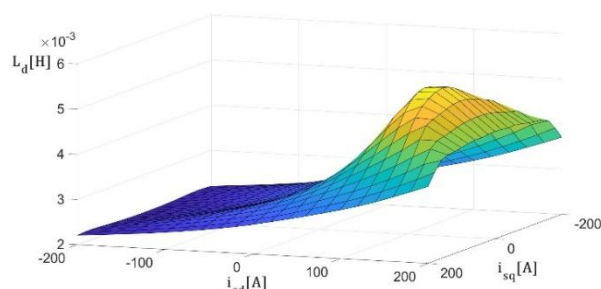
Kada je reč o induktivnosti po q osi, možemo na slici 2 videti da je ona simetrična i po d i po q osi, a razlog tome je što dešavanja u d osi slabo utiču na q osu, pa nema odraza asimetrije. Induktivnost L_q dominantno zavisi od

struje i_{sq} , svoj maksimum dostiže pri nultoj vrednosti i_{sq} , ali čim dođe do promene i_{sq} , dolazi i do promena L_q . Ovde se mora obratiti posebna pažnja na dramatičnost promena L_q sa i_{sq} , koja je mnogo manje izražena nego u slučaju promena L_d sa i_{sd} . Struja i_{sd} ne utiče mnogo na vrednost induktivnosti L_q , postoji mali ugib koji je slabo izražen.

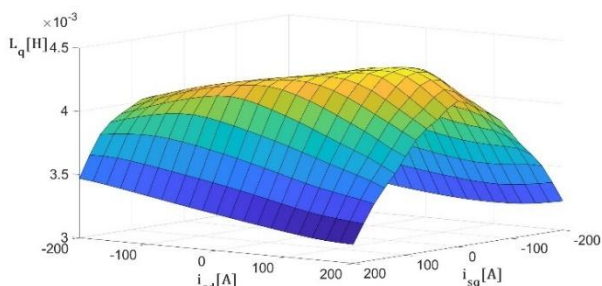
Sprežne induktivnosti L_{dq} i L_{qd} koje su prikazane na slikama 3 i 4 koje postoje usled činjenice da fluks po d i fluks po q osi dele isto magnetno kolo, mogu imati i pozitivne i negativne vrednosti, što zavisi od nivoa zasićenja. Ukoliko d ili q osa previše zasite, može se desiti da se taj fluks rasipa i u pozitivnom i u negativnom smislu, odnosno od d ka q osi i obrnuto od q ka d osi. Svakako, vrednost ovih induktivnosti je mnogo manja od vrednosti sopstvenih induktivnosti po d i q osi, ali one ipak postoje. Značajno je još napomenuti i da sprežne induktivnosti nisu simetrične, što je očekivano iz razloga što mi želimo da vidimo doprinos q struje u d osi koja je nesimetrična, u slučaju L_{dq} , ili doprinos d struje (iz nesimetrične d ose) u q osi koja je simetrična, u slučaju L_{qd} .

U simulacijama je takođe analiziran fluks stalnih magneta koji je prikazan na slici 5 i prvo će biti prikazan doprinos fluksa stalnih magneta u d osi. Vrlo je uočljiv deo slike gde se imaju velike vrednosti struja i po d i po q osi, koje dovode do dramatičnog zasićenja gvožđa. U takvim situacijama zasićeno gvožđe ima karakteristike vazduha i predstavlja put velikog magnetskog otpora za fluks stalnih magneta, čije se polje usled toga lokalno zatvara. Ovo ne znači da je fluks stalnih magneta mali, naprotiv on je velik, ali slabo doprinosi ukupnom polju iz gore navedenog razloga. Ovakve situacije se u praksi naravno ne dešavaju, ali je u cilju veće ekstenzibilnosti simulacija prikazan i taj momenat u ponašanju fluksa mašine.

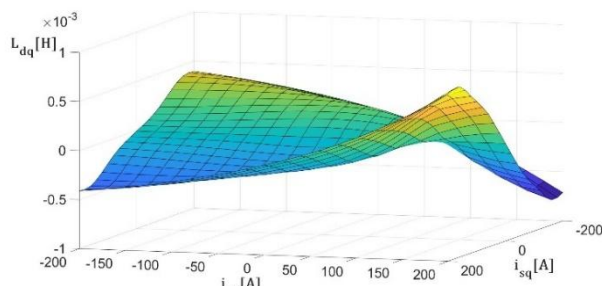
Na slici 6 dat je prikaz fluksa stalnog magneta u q osi. On nije nula, kao što bismo to pretpostavili na osnovu teorijskih razmatranja. Postoji, ali je značajno manje izražen i ovde će biti predstavljen samo zbog teorijskog značaja i akademskog zaokruženja svih fenomena. Nije simetričan, iz razloga što istražujemo doprinos nesimetrične d ose i magneta koji bi suštinski trebali da doprinose samo u d osi, u q osi.



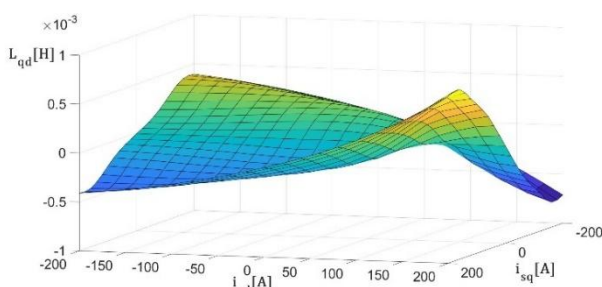
Slika 1. Induktivnost po d osi, u funkciji struja i_{sd} i i_{sq}



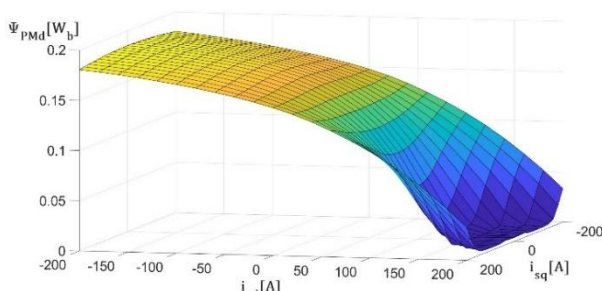
Slika 2. Induktivnost po q osi, u funkciji struja i_{sd} i i_{sq}



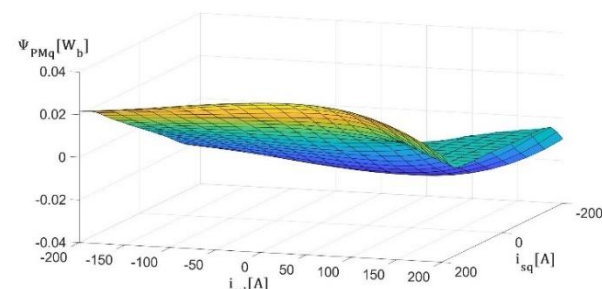
Slika 3. Sprežna induktivnost L_{dq} , u funkciji struja i_{sd} i i_{sq}



Slika 4. Sprežna induktivnost L_{qd} , u funkciji struja i_{sd} i i_{sq}



Slika 5. Doprinos fluksa stalnih magneta u d osi, ukupnom fluksu u d osi



Slika 6. Doprinos fluksa stalnih magneta koji se nalaze u d osi, ukupnom fluksu u q osi

6. Zaključak

U radu je obrađen fenomen varijacija vrednosti induktivnosti u širokom radnom opsegu sinhronne mašine sa utisnutim stalnim magnetima. Rezultati su dobijeni pomoću metode konačnih elemenata i primenjene tehnike zamrznutih permeabilnosti. Iz priloženog je jasno da vrednosti induktivnosti nisu konstantne i ukoliko se teži kontroli koja daje visoke performanse mašine, ove varijacije je neophodno uzeti u obzir.

7. Reference

- [1] Nicola Bianchi, Silverio Bologani, "Magnetic Models of Saturated Interior Permanent Magnet Motors based on Finite Element Analysis"
- [2] Mladen Vučković, "Nonlinear Magnetic Model of IPMSM based on the Frozen Permeability Technique utilized in improved MTPA control", 2024
- [3] Dejan G. Jerkan, Marko A. Gecić, "IPMSM inductances calculation using FEA"
- [4] Dejan G. Jerkan, "Dinamički model trofazne kavezne asinhronne mašine zasnovan na metodi konačnih elemenata"
- [5] Milica Jarić, Vladimir Popović, "Comparison of optimal control trajectories of IPMSM with different saliency ratios"

Miljana Naumov je rođena u Novom Kneževcu 5. 1. 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranila je 2024.god.

Dejan Jerkan je vanr. prof na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedri za Energetsku elektroniku i pretvarače. Oblast interesovanja su mu modelovanje i dijagnostika električnih mašina, kao i metoda konačnih elemenata.

СТЕГОАНАЛИЗА АУДИО ЗАПИСА**AUDIO STEGANALYSIS**Марк Ристић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – *Стеганографија, стеганографске технике и стегоанализа означавају појмове везане за технике сакривања информација унутар наизглед безазлене комуникације. Први део рада упознаје читаоца са основним појмовима и дефиницијама стеганографије и стегоанализе. Након тога, описане су основне стеганографске и стегоаналитичке технике. Практична имплементација овог рада је уско везана за аудио фајлове, технику супституције бита најмање важности и технику кодирања парности. Описан је стеганографски процес кроз употребу већ постојећих и ручно имплементираних алгоритама. Извршена је стегоаналитичка класификација употребом различитих класификационих модела.*

Кључне речи: *стеганографија, стегоанализа, аудио стеганографија, кодирање парности, супституција бита најмање важности, вештачка интелигенција*

Abstract – *Steganography, steganographic methods and steganalysis signify terms connected to information hiding techniques inside innocent seeming communication. The first part of this paper introduces the reader with basic steganography and steganalysis concepts and definitions. The practical implementation of this paper is tightly coupled to audio files, the least significant bit substitution method and the parity coding method. This paper also describes the steganographic process via usage of already existing and manually implemented algorithms and steganalytical classification via different classification models.*

Keywords: *steganography, steganalysis, audio steganography, parity coding, least significant bit substitution, artificial intelligence*

1. УВОД

Двадесет и први век, окарактерисан као четврта индустријска револуција [1], сведочи експоненцијалном технолошком напретку човечанства, напретку који је утемељио „информацију“ као основну и највреднију валуту дигиталног друштва. Новонастала учесталост електронске комуникације довела је у питање безбедност њене употребе, где су се као одговор на овај новонастали проблем појавиле различите технике шифровања података. Шифровање података подразумева криптографски процес, где је циљ сакривање

садржаја, тј. његово претварање у нечитљив скуп знакова, читљив једино од стране особа које поседују кључ за дешифровање. Иако је модерно шифровање веома робусно, крајњи учесници комуникације, као и присутност тајне комуникације су још увек очигледни. Идентитет учесника могуће је сакрити употребом анонимних римејлера (енг. *anonymous remailers*) [2] који прослеђују поруке без прослеђивања пошиљаоца. Нажалост, сама употреба ове методе не сакрива постојање тајне комуникације, те се нападом на ове посреднике могу открити крајњи учесници. Постоје одређене политичке, службене (нпр. тајна операција) па и криминалне ситуације [2], где је неопходно сакрити само постојање комуникације. Техника сакривања тајних порука на такав начин да нико осим предајне и пријемне стране није свестан постојања комуникације назива се стеганографија. Технике откривања постојања скривених порука унутар наизглед бескорисних информација назива се стегоанализа [3].

2. СТЕГANOГРАФИЈА

Масивна дигитализација модерног света омогућила је инстант комуникацију између било која два дела планете. Помоћу ове „тренутне комуникације“ креиране су нове врсте заједница, нове врсте услуга и наравно нове врсте послова. Поред свих позитивних новина, главни носилац дигиталне комуникације, интернет, постао је мета експлоатације у виду пресецања информација дељених његовим путем. Као што је споменуто у самом уводу, шифровање у великој мери осигурава интернет комуникацију користећи робусне и доказане протоколе као што су HTTPS, SSH и FTPS. Главна мана, и притом главна разлика између шифровања и стеганографских процеса јесте у чињеници да шифровање по својој природи не сакрива само „постојање комуникације“ из чега настаје и главни разлог примене стеганографије.

2.1. Примена стеганографије

Претходно смо навели политичке, криминалне и службене домене као домене употребе стеганографије. У овом делу одељка биће конкретизована примена стеганографских процеса кроз реалне примере из модерног дигиталног друштва. Преласком са аналогних на дигитална складишта уметности као што су филм, сликарство и музика, настао је проблем противзаконите расподеле дигиталних добара. Како би се заштитило ауторско право или интелектуална својина, креирана је техника означавања дигиталних фајлова воденим жигом (енг. *watermarking*) [2]. Како

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Стеван Гостојић, ред. проф.

би се спречила пиратизација ових материјала, на њега се ставља жиг који јасно приказује коме припада дата својина (слика 1).



Слика 1. Пример воденог жига [4]

2.2. Основни појмови

Примарни циљ стеганографије лежи у сакривању постојања скривене комуникације помоћу наизглед безазлене комуникације. Насупрот, употреба воденог жига се често не сакрива, па чак и наглашава у циљу застрашивања од незаконите употребе означених материјала. Битно је напоменути да стеганографија и означавање воденим жигом деле теоријску основу на којој се темеље, али су њихова примена и фактори који утичу на њихову примену, различити [2].

Основна мера квалитета система воденог жига јесте ефективност уграђивања и она представља шансу да детектор жига погрешно тј. не верификује постојање очекиваног жига одмах након уграђивања пре било какве дисторзије као што је компресија. Позитивна (не нула) шанса за ову грешку означава присуство ограничавајућих фактора уграђивања као што је верност (енг. *fidelity*). Другим речима, комбинација датог преносиоца и датог уграђивача не могу беспрекорно да уграде жиг у медијум. У случају стеганографије, не користи се мера ефективности уграђивања зато што стеганографија најчешће није везана за конкретан медијум преноса, док водени жиг означава конкретан (без могућности промене) медијум (филм, слику, песму итд.) [2].

Споменута мера верности, често није примењива у области стегоанализе зато што стегоаналитичари често немају приступ оригиналном преносиоцу у који је уграђена порука како би се проценила верност медијума са поруком у односу на чист медијум. Као што се може приметити из претходног дела, стеганографија акценат ставља на поруку која се уграђује, док маркирање воденим жигом мари једино за медијум преноса, а од поруке очекује једино да докаже власништво медијума.

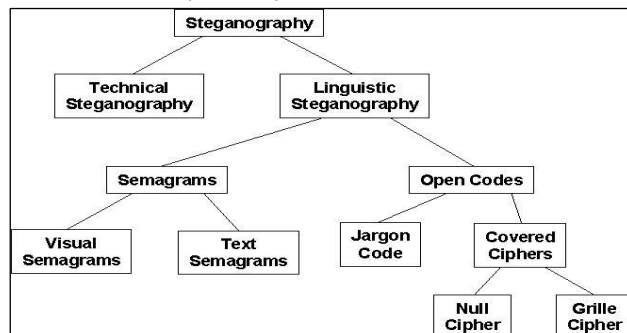
Иако стеганографија не садржи медијумска ограничења (није везана за специфичан фајл, често ни за врсту фајла), постоје друга ограничења која треба узети у обзир, као на пример капацитет уграђивања. Капацитет уграђивања дефинише се као максималан број битова који може да се модификује у циљу уграђивања поруке у дати медијум за дату методу. У случају употребе методе најмање битног бита и слике као медијума, капацитет уграђивања представља укупан број пиксела дате слике. Наравно, што се више

битова модификује већа је шанса за оштећење преносиоца и евентуалну детекцију од стране стегоаналитичких алата. Много бољу меру представља стеганографски капацитет, који представља максималан број битова који могу бити употребљени за сакривање поруке, да се при том минимализује могућност детекције присутности скривене поруке. Стеганографски капацитет је много мањи од капацитета уграђивања, и веома га је тешко израчунати и за веома просте стеганографске системе. Што је порука мања/краћа мање су шансе за детекцију – порука од неколика битова је можда корисна као водени жиг, али не представља корист као скривена порука коју прималац треба да интерпретира и искористи. Циљ модерних стеганографских алата је сакривање што веће поруке уз помоћ што мање модификација преносиоца поруке. Баланс овог односа представља стеганографска ефикасност [2].

2.3. Технике стеганографије

Популарност стеганографије која је доживела нагли раст крајем претходног и почетком тренутног века се још увек шири. Све је више стеганографских алата који кроз неколико корака могу да сакрију поруку у неки медијум. Иако се већина техника бави манипулацијом битова, постоје стеганографске технике које претходе дигиталном добу.

Кеслер је 2004. поделио стеганографске технике на следећи начин (слика 2):



Слика 2. Кеслерова подела стеганографије [5]

Техничка стеганографија користи научне методе као што су невидљиво мастило, воштане табле, микро тачкице и друге методе сакривања поруке путем маскирања или смањивања величине.

Лингвистичка стеганографија представља сакривање тајне поруке помоћу неке наизглед безначајне/безазлене поруке путем неког од преносиоца. Даље се категорише кроз семаграме и отворене кодове.

Семаграми сакривају поруке користећи симболе или знакове. Визуелни семаграми сакривају поруку користећи безазлене или свакодневне објекте као што су цртежи, распоред ствари на слици једног стола или веб страница. Текстуални семаграми сакривају поруке модификацијом текста који преноси поруку, као што су промена фонта (стил, величина), модификацијом празних поља између слова, различито украшеним словима и сл.

Жаргонски код означава поруку где само намењени примаоци могу да схвате значење.

Скривене шифре сакривају поруку као подскуп свеукупног текста преноса. Овај подскуп није могуће идентификовати без познавања „тајне“, односно кључа од кога зависи логика закључавања и откључавања. Решеткаста шифра подразумева стављање одређеног обрасца преко текста преноса, где решетка наглашава поруку. Нулте шифре прате раније уговорену логику писања и читања поруке као што је „прочитај сваку реч након речи која почиње са сугласником“ или нешто простије као „прочитај сваку седму реч сваке друге реченице“.

Дигитална стеганографија обухвата техничку стеганографију и делове лингвистичке стеганографије. Дигитална стеганографија користи дигиталне фајлове као преносиоце скривених порука.

Учестала места за сакривање поруке јесу [6]:

- сакривање унутар текста – програмски код, текст текстуалних докумената (нпр. .docx, .pdf, .txt, .ru фајлови),
- сакривање унутар диск простора – фајлови често не заузимају читав алоциран диск простор, вишак диск простора (енг. *slack space*) се може искористити за сакривање тајних порука,
- сакривање унутар мрежних пакета – заглавља TCP/IP пакета поседују просторни вишак у који је могуће уградити поруке,
- сакривање унутар електричних кола – распоред електричних кола на плочи може да представља маркер за валидност хардвера и
- сакривање унутар сликовних, аудио и видео фајлова – поруке могу да се сакрију у информације ових медија као што су контраст, фреквенција, боја итд.

2.3.1. Аудио стеганографија

Аудио стеганографија подразумева модификацију дигиталног звучног сигнала, тако да се минимизује шанса да човек или рачунар примете промену. Све технике аудио стеганографије се ослањају на принципе и особине људског слушног система (енг. *human auditory system* – *HAS*) и чињеницу да иако људски слух има велики динамички опсег (осетљивост на гласноћу), људи поседују мали диференцијални опсег (осетљивост на разлике између две узастопне тачке аудио сигнала) [7].

Супституција бита најмање важности може се применити на било какав бинарни фајл, па тако и на аудио фајлове. Техника сакрива поруку кроз бите најмање важности, пратећи унапред договорену логику. Овакве промене, све док поштују ограничења стеганографског капацитета, не утичу превише на звук садржаја, али могу бити препознате од стране напредних стегоаналитичких алата.

Техника кодирања парности дели сигнал на одвојене области узорка и кодира сваки бит тајне поруке у биту парности тренутне регије узорка. Уколико се бит поруке и бит парности не подударају, окреће се бит најмање важности једног од узорка у регији.

3. СТЕГОАНАЛИЗА

Стегоанализа представља скуп техника које деле заједнички циљ препознавања присутности тајних порука унутар неког стего преносног медијума. Детекција у домену стегоанализе, често дефинисана као стегоаналитички напад, представља класификациони проблем, обично у више нивоа. Примарни задатак јесте класификација у две класе, чист објекат и стего објекат. Секундарни задатак јесте препознавање конкретног стеганографског алгорита. Терцијални задатак јесте откривање садржаја поруке. Разликујемо циљану и слепу стегоанализу у зависности од тога да ли нам је познат стеганографски алгоритам или не.

3.1. Аудио стегоанализа

Технике аудио стегоанализе се базирају на идентификацији аномалија и несагласности у приказима медијума у различитим доменима као што су фреквентни и просторни домен. Аудио сигнали се ређе користе као медијум од слика, али имају ту стеганографску предност да људски слух не може да примети све фреквенције и амплитуде доступне стего комуникаторима. Наравно, постоје и боје и друге сликовне мере које човек не може да процеси, али би оне изазвале визуелне очигледности, док су у аудио снимцима просто занемарене.

4. МЕТОДОЛОГИЈА

Ово поглавље описује методологију коју имплементира софтверски алат који стеганографски уграђује текстуалну поруку унутар .wav аудио фајла преко више алгоритама и употребом различитих класификационих модела класификује тестни фајл у $N+1$ класа где је N број алгоритама за уграђивање. Нулта класа представља чист фајл без скривене поруке.

Класификатор базиран на статистичким особинама врши статистичку анализу аудио сигнала. Екстрахују се особине сигнала и додају се лабеле за сваки ред унутар скупа података. Екстраховане особине се чувају у фајл и употребом генетског алгорита се налази гранична вредност за сваку посматрану особину. Вредности изнад или испод ове вредности се сматрају сумњивим, након N од M сумњивих вредности фајл проглашавамо прљавим (N – подесив број тренутно сумњивих особина, M – број укупних посматраних особина).

Класификатор базиран на моделима вештачке интелигенције такође издваја особине сигнала. Разлика је у начину тренирања где се код претходних модела употребом генетског алгорита тражио скуп оптималних граница, док се код модела вештачке интелигенције тренира конкретан математички модел над скупом података.

Поред класификатора базираних на статистичким особинама, имплементирана су три модела вештачке интелигенције: Support Vector Machine (Classifier), алгоритам случајних шума (енг. *random forest*) [8] и XGBoost алгоритам [9]

4.1. Скуп података

Као извор аудио фајлова коришћен је „Freesound General-Purpose Audio Tagging“ [10] скуп података. Овај скуп података садржи око 11.000 аудио фајлова у .wav формату. Скуп података је означен у сврхе идентификације жанра и инструмента употребљених у фајлу. Пројекат не користи ове лабеле, врши процесирање над основним скупом фајлова и задаје му сопствене лабеле које употребљава за класификацију.

Конечан скуп података (укупно 27.142 фајлова) састоји се од три групе фајлова: чистих (из оригиналног скупа података), креираних кодирањем парности и креиране супституцијом бита најмање важности употребом већ имплементираних алгорита. Код креирања коначног скупа података примењен је и на тестни скуп и на скуп намењен за тренирање.

5. РЕЗУЛТАТИ

Класификација у три класе (чист, lsb, фајл кодирања парности) путем класификатора базираног на статистичким особинама постигла је тачност од 0,4611, док је класификација у две класе (чист, прљав) постигла тачност од 0,6039.

Резултате три имплементираних модела вештачке интелигенције могуће је видети у табели 1:

Табела 1. Компарација резултата модела вештачке интелигенције

Model	Accuracy	Precision	Weighted Avg Recall	Weighted Avg F1-Score	Support
SVC	0,80	0,82	0,80	0,79	5429
Random Forest	0,88	0,91	0,88	0,88	5429
XGBoost	0,87	0,89	0,87	0,86	5429

6. ДИСКУСИЈА

Модел случајних шума представља најбалансиранiji модел који кроз читав скуп података показује једнако добре перформансе. Идентификација употребе супституције бита најмање важности се показала као најлакши задатак где су сва три модела показала веома високу тачност. SVC модел иако даје веома добре перформансе је још увек најмање перформантан од три имплементираних модела. Перформансе модела могуће је унапредити проширењем скупа издвојених особина аудио записа и анализом релевантних особина. Ресурсе је могуће појачати употребом Гугл или Амазон сервера за тренирање модела вештачке интелигенције, што би омогућило брже тренирање, бољу хипероптимизацију параметара и експериментисање са више врста модела.

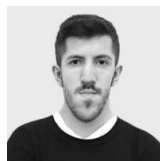
7. ЗАКЉУЧАК

Модернизацијом комуникације модернизовали су се и комуникациони захтеви, где неки од њих захтевају не само заштиту садржаја ове размене, већ и сакривање самог постојања исте. Стеганографија представља решење за претходно поменуте захтеве. Њен главни циљ јесте маскирање тајне комуникације у оквиру неке безазлене комуникације употребом слика, филмова, текста или музике. Напредком науке и технологије, сваким даном појављују се нови стеганографски и стегоаналитички приступи, који ће уједно повећати доступност стеганографских алата и побољшати њихов квалитет.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution, Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 201
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, Digital Watermarking and Steganography, 2nd ed., Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2008.
- [3] М. Веиновић и С. Адамовић, Криптологија I: Основе за анализу и синтезу шифарских система, Београд: Машински факултет, 2013.
- [4] Before and after example of AI watermark. [Online]. Available: <https://www.shutterstock.com/image-photo/before-after-example-ai-watermark-600w2259074049.jpg>. [Приступљено: Октобар 2024].
- [5] G. C. Kessler, "An Overview of Steganography for the Computer Forensics Examiner," Int. J. Digital Evidence, vol. 3, no. 2, Feb. 2004.
- [6] N. F. Johnson, Z. Duric, and S. Jajodia, Information Hiding: Steganography and Watermarking – Attacks and Countermeasures, Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [7] K. P. Adhiya and S. A. Patil, "Hiding Text in Audio Using LSB Based Steganography," in Proceedings of the 2012 Int. Conf. Comput. Comm. Inf. Sci., Pune, India, 2012, pp. 1-4.
- [8] Scikit-learn, Scikit-learn Documentation, 2023. [Online]. Available: <https://scikitlearn.org/stable/api/index.html>. [Приступљено: Јул 2024].
- [9] XGBoost, XGBoost Documentation, 2023. [Online]. Available: https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/python/sklearn_estimator.html. [Приступљено: Јул 2024].
- [10] Kaggle, Freesound Audio Tagging Challenge, 2018. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/c/freesound-audio-tagging/overview>. [Приступљено: Мај 2024].

Кратка биографија:



Марк Ристић рођен у Суботици 1998. год. дипломирао је 2021. год. на ФТН-у, смер Рачунарство и аутоматика са темом „Примена фази логике у управљању безбедности информационих система“ контакт: risticmark1337@gmail.com

**PRIMENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U FARMACEUTSKIM LANCIMA
SNABDEVANJA****APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN PHARMACEUTICAL SUPPLY
CHAINS**Aleksandar Bjelobaba, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – Rad istražuje primenu blockchain tehnologije u farmaceutskim lancima snabdevanja, analizirajući izazove s kojima se suočavaju i prednosti koje blockchain nudi za njihovo rešavanje. Proučeni su osnovni principi blockchain-a, a takođe je opisana implementacija distribuirane aplikacije za upravljanje farmaceutskim lancem snabdevanja koristeći Vue za klijentski deo, Spring Boot za serverski deo i Hyperledger Fabric za organizaciju mreže.

Ključne reči: Blockchain, Hyperledger Fabric, lanci snabdevanja, farmacija

Abstract – The paper explores the application of blockchain technology in pharmaceutical supply chains, analyzing the challenges they face and the benefits blockchain offers in addressing them. It examines the fundamental principles of blockchain technology and details the implementation of a distributed application for pharmaceutical supply chain management, utilizing Vue for the client side, Spring Boot for the server side, and Hyperledger Fabric for network organization.

Keywords: Blockchain, Hyperledger Fabric, supply chains, pharmacy

1. UVOD

Farmaceutska industrija u velikoj meri zavisi od efikasnog lanca snabdevanja kako bi zadovoljila stalno rastuću potražnju za lekovima. Ne radi se samo o procesu premeštanja proizvoda od tačke A do tačke B, već o složenom sistemu koji se suočava sa značajnim izazovima, među kojima su: ispunjavanje strogih regulatornih zahteva, rizik od falsifikovanih lekova i očuvanje integriteta osetljivih proizvoda kroz čitav lanac [1]. Posledice propusta u ovom procesu mogu biti ozbiljne i, pored finansijskih gubitaka, mogu dovesti do odlaganja terapija, različitih zdravstvenih rizika, a u najgorem slučaju, i gubitka života. U industriji gde propusti mogu ugroziti živote ljudi obezbeđivanje pouzdanosti, transparentnosti i sledljivosti je od ključnog značaja.

Blockchain tehnologija, koju između ostalog, karakterišu: integritet i nepromenljivost sačuvanih podataka, decentralizovanost i transparentnost, predstavlja potencijalno rešenje za smanjenje rizika u farmaceutskim

lancima snabdevanja. Nepromenljivošću sačuvanih podataka i obezbeđenjem potpune sledljivosti, blockchain omogućava verifikaciju autentičnosti lekova u svakoj fazi od proizvodnje do isporuke, tako smanjujući rizik od falsifikovanih proizvoda i olakšavajući reviziju od strane regulatornih organa [2].

U poslednjih nekoliko godina, interesovanje za primenu blockchain tehnologije u farmaceutskom lancu snabdevanja je poraslo. Kompanije poput Pfizer-a i Gilead-a pokrenule su projekte kako bi testirale potencijal pomenute tehnologije za unapređenje transparentnosti i sigurnosti [3].

U ovom radu predstavljen je razvoj distribuirane veb aplikacije za farmaceutski lanac snabdevanja čiji je cilj da demonstrira praktičnu primenu blockchain-a u pomenutoj industriji.

2. TEORIJSKE OSNOVE**2.1. Osnove blockchain tehnologije**

Blockchain predstavlja distribuiranu bazu podataka koja sadrži zapise o transakcijama koje se dele među članovima mreže. Svaka transakcija se verifikuje konsenzusom većine članova, čime se sprečava da neispravne transakcije budu sačuvane. Kada se zapis kreira i prihvati u blockchain, ne može se više izmeniti niti izbrisati.

Transakcije se čuvaju u blokovima koji su vremenski obeleženi i nepromenljivi. Svaki blok je zaštićen i povezan korišćenjem kriptografskih principa. Za razliku od tradicionalnih baza podataka, blockchain funkcioniše na mreži autonomnih i ravnopravnih čvorova (engl. peer-to-peer mreži), koji upravljaju blockchain-om čime se eliminiše potreba za centralnim autoritetom.

2.2. Hyperledger Fabric

Hyperledger je projekat otvorenog izvornog koda osnovan od strane Linux fondacije. Hyperledger Fabric [4], koji je korišćen za implementaciju rešenja opisanog u ovom radu, predstavlja jedan od blockchain projekata koji se nalaze u sklopu Hyperledger-a. Kao i druge blockchain tehnologije, on poseduje glavnu knjigu ili *ledger*, koristi pametne ugovore i predstavlja sistem kojim učesnici upravljaju pomoću transakcija.

Hyperledger Fabric je privatan i *permissioned*. Članovi mreže moraju da se prijave preko pružaoca usluga članstva (engl. Membership Service Providers – MSP), dok nepoznatim entitetima pristup mreži nije omogućen.

NAPOMENA:

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

Modularnost i fleksibilnost su ključne osobine Hyperledger Fabric-a. Podaci čuvani u ledger-u mogu biti skladišteni u više različitih formata, mehanizmi konsenzusa se mogu menjati i podržavaju se različite MSP komponente. Zahvaljujući ovim karakteristikama, ovaj radni okvir je pogodan za rešavanje širokog spektra problema u različitim industrijama, kao što su: bankarstvo, finansije, zdravstvo, lanci snabdevanja, itd.

U Hyperledger Fabric-u, ledger se sastoji od dva dela – stanja sveta i blockchain-a. Stanje sveta predstavlja skladište podataka koje čuva trenutno stanje objekata na ledger-u, dok blockchain sadrži trajni zapis svih transakcija koje su se realizovale u sistemu.

U Hyperledger Fabric-u pametni ugovori se nazivaju chaincode. Chaincode ima pristup ledger-u – i stanju sveta i blockchain-u. U većini slučajeva on modifikuje ili dobavlja podatke iz stanja sveta, ali takođe može da izvršava upite nad nepromenljivim zapisima transakcija koji su dostupni na blockchain-u.

2.3. Upotreba blockchain tehnologije u lancima snabdevanja

Upravljanje lancem snabdevanja (engl. Supply Chain Management - SCM) podrazumeva proces nadgledanja toka robe i usluga od tačke porekla do tačke potrošnje. To uključuje kretanje i skladištenje sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda. SCM igra ključnu ulogu u globalnoj ekonomiji, utičući na brojne industrije, od maloprodaje do zdravstva. Efikasno upravljanje lancem snabdevanja je od suštinske važnosti za obezbeđivanje isporuke proizvoda na vreme i uz minimalne smetnje. Kako lanci snabdevanja postaju sve složeniji, potreba za poboljšanom transparentnošću, bezbednošću i efikasnošću je sve značajnija.

Lanci snabdevanja se suočavaju sa brojnim izazovima, od kojih mnogi potiču iz nedostatka transparentnosti i neefikasnosti. Informacije u ovim sistemima su često međusobno razdvojene i izolovane, što otežava praćenje kretanja robe i proveru njene autentičnosti. Ovi nedostaci mogu dovesti do kašnjenja isporuka, viška zaliha, kao i povećanih troškova [5].

Blockchain tehnologija je, na osnovu svojih osobina, prepoznata kao potencijalno rešenje za navedene probleme. Korišćenjem blockchain-a, kompanije mogu obezbediti da je svaki korak u lancu snabdevanja zabeležen na način koji je otporan na manipulaciju, a pritom i pruža uvid u kretanje robe u realnom vremenu [6].

Za razliku od tradicionalnijih lanaca snabdevanja, farmaceutski lanci snabdevanja su složeniji i suočavaju se sa dodatnim izazovima zbog rada sa osetljivim proizvodima. Pored logistike i upravljanja troškovima, oni se moraju suočiti sa strogim regulatornim zahtevima i osigurati kvalitet proizvoda sa kojima posluju. Ovi lanci zahtevaju visoke standarde bezbednosti i praćenja kako bi se osiguralo da su proizvodi pravilno skladišteni i distribuirani. Lekovi su često osetljivi na temperaturu i zahtevaju da se sa njima precizno rukuje tokom celokupnog lanca snabdevanja. Značajan rizik takođe predstavljaju falsifikovani lekovi koji mogu imati ozbiljne posledice po zdravlje pacijenata [7, 8].

U 2017. godini, Svetska zdravstvena organizacija procenila je da je 10,5% lekova u svetu substandardno ili falsifikovano. Prema izveštaju, učestalost falsifikovanih lekova je iznosila 13,6% u zemljama sa niskim i srednjim prihodima [9].

Sposobnost blockchain sistema da precizno identifikuju poreklo podataka ih čini posebno pogodnim za primenu u farmaceutskim lancima snabdevanja. Podaci o samim lekovima i njihovom poreklu, kao i zapisi o njihovom kretanju kroz lanac snabdevanja mogu značajno pomoći pri utvrđivanju autentičnosti farmaceutskih proizvoda, kao i olakšati reviziju od strane regulatornih tela. Korišćenjem decentralizovanog, nepromenljivog sistema za praćenje proizvoda, blockchain može pomoći farmaceutskim kompanijama da osiguraju autentičnost lekova, održavaju usklađenost sa propisima i poboljšaju efikasnost celokupnog lanca snabdevanja [2, 10].

Neke kompanije su već počele da koriste blockchain u lancima snabdevanja – jedan od značajnijih primera je projekat MediLedger, koji uključuje velike farmaceutske kompanije poput Pfizer-a i Gilead-a [3].

3. MODEL SISTEMA

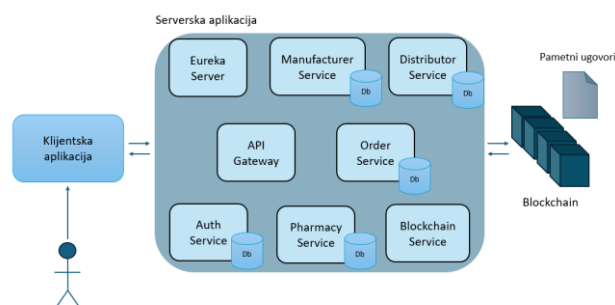
3.1. Arhitektura sistema

Rešenje je realizovano kao distribuirana veb aplikacija sa odvojenim klijentskim i serverskim delom, koji međusobno komuniciraju pomoću HTTPS protokola.

Klijentska aplikacija razvijena je pomoću Vue radnog okvira i ona omogućava korisniku da direktno interaguje sa aplikacijom pomoću korisničkog interfejsa.

Poslovna logika se nalazi u okviru serverskog dela aplikacije koji ima mikroservisnu arhitekturu i koji je implementiran pomoću Spring radnog okvira.

Arhitektura sistema prikazana je na slici 1.



Slika 1. Arhitektura sistema

Klijentska aplikacija komunicira isključivo sa API Gateway-om, koji prihvata zahteve i preusmerava ih ka odgovarajućim servisima. U tom procesu ključnu ulogu igra Eureka Server, na koji se registruje svaki mikroservis. Eureka Server vodi evidenciju o lokacijama svih mikroservisa, omogućavajući im da komuniciraju međusobno bez potrebe za poznavanjem IP adresa ili portova drugih mikroservisa.

Serverski deo aplikacije komunicira sa blockchain mrežom pomoću Blockchain Service-a. Za organizaciju blockchain mreže korišćen je Hyperledger Fabric radni okvir.

Za skladištenje podataka van blockchain mreže koriste se PostgreSQL baze podataka.

3.2. Funkcionalnosti sistema

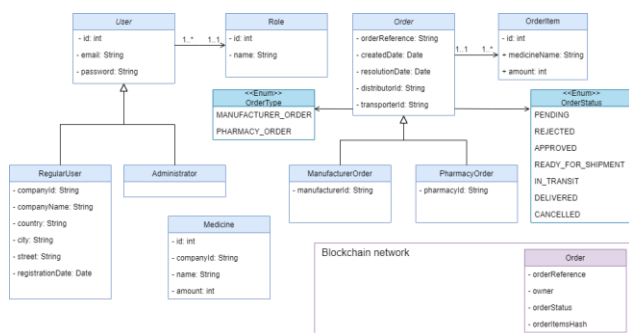
U sklopu sistema možemo razlikovati više tipova korisnika: administratore, proizvođače, distributere, transportere i farmaceute. Kako sistem rukuje sa osetljivim podacima, pristup aplikaciji je omogućen isključivo registrovanim korisnicima. Pravo na registraciju novih korisnika imaju samo administratori.

S obzirom na to da je reč o SCM aplikaciji, glavni deo njenih funkcionalnosti se odnosi na rad sa porudžbinama. Proizvođači mogu da proizvode lekove, dok farmaceuti i distributeri mogu da kreiraju porudžbine, kao i da ih otkazuju. Prilikom kreiranja porudžbine imaju mogućnost da izaberu distributera, odnosno proizvođača, od koga će poručiti farmaceutske proizvode, kao i transportera koji će biti zadužen za preuzimanje i isporuku pošiljke. Distributeri i proizvođači mogu prihvatiti ili odbiti primljene zahteve za porudžbinu. Ukoliko je porudžbina prihvaćena, i tražena količina lekova je dostupna na skladištu, potrebno je pripremiti porudžbinu i rezervisati lekove.

Takođe, svi učesnici lanca snabdevanja mogu da pretražuju svoje porudžbine, pri čemu proizvođači, distributeri i farmaceuti imaju i mogućnost uvida u detalje kretanja porudžbine kroz sam lanac snabdevanja. Osim toga, navedena tri tipa korisnika mogu pretraživati i pratiti stanje svog inventara.

3.3. Model podataka

S obzirom na to da je reč o distribuiranoj aplikaciji koja je napravljena korišćenjem mikroservisne arhitekture, više različitih servisa ima sopstvene baze podataka sa kojima upravljaju. Iako neki entiteti jesu zajednički među servisima, svaka baza podataka čuva različite tipove informacija. Kao rezultat toga, dijagram klasa prikazan na slici 2 predstavlja generalizaciju sistema, a ne njegovu tačnu implementaciju.



Slika 2. Dijagram klasa

Klase *RegularUser* i *Administrator* nasleđuju apstraktnu klasu *User*. U okviru *User* klase nalaze se atributi koji definišu kredencijale korisnika, kao i tip korisnika koji je predstavljen pomoću *Role* klase. Klasa *RegularUser* opisuje proizvođače, distributere, transportere i farmaceute. Svaki od ovih tipova korisnika ima svoj *companyId*, koji se generiše prilikom registracije i predstavlja jedinstveni petocifreni broj. Ovaj atribut je od izuzetne važnosti, jer se njime organizacije povezuju sa svojim porudžbinama i inventarima.

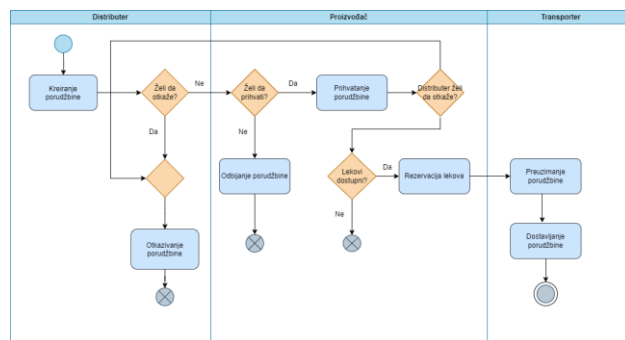
Količina lekova koje neka organizacija trenutno ima u inventaru se modeluje klasom *Medicine*. Ova klasa se koristi u *Manufacturer*, *Distributor* i *Pharmacy* servisima.

Većina mikroservisa radi sa porudžbinama koje su modelovane pomoću *Order* klase. Atribut *orderReference* koristi se za identifikaciju porudžbine i predstavlja jedinstveni string dužine 15 karaktera. U svakoj porudžbini se nalazi lista *OrderItem*-a, koja predstavlja naručene lekove i njihove količine. Tip i status porudžbine modeluju se pomoću klasa za enumeraciju *OrderType* i *OrderStatus*. Tip porudžbine može biti *MANUFACTURER_ORDER* i *PHARMACY_ORDER*, gde prvi tip predstavlja porudžbinu između distributera i proizvođača, a drugi između farmacija i distributera. Atributi *manufacturerId*, *distributorId*, *transporterId* i *pharmacyId* sadrže vrednosti polja *companyId* odgovarajućih kompanija uključenih u porudžbinu.

Na blockchain mreži se takođe čuvaju podaci o porudžbinama, što omogućava praćenje njihovog kretanja kroz lanac snabdevanja. Atribut *owner* sadrži *companyId* trenutnog vlasnika porudžbine, dok atribut *orderStatus* ukazuje na njen trenutni status. Dobavljanjem istorije izmena porudžbine na osnovu *orderReference* atributa, dobijamo uvid u njeno kretanje. U polju *orderItemsHash* nalazi se hešovana vrednost porudžbine.

3.4. Upravljanje porudžbinom

U SCM aplikaciji upravljanje porudžbinama predstavlja centralni deo sistema. Kao što je prethodno pomenuto, u aplikaciji postoje dva tipa porudžbina – između proizvođača i distributera, kao i između distributera i farmacije. Iako se učesnici razlikuju, tok porudžbine ostaje isti u oba slučaja. Prikaz aktivnosti kreiranja porudžbine i njenog kretanja kroz lanac snabdevanja, od proizvođača do distributera, prikazan je na slici 3.



Slika 3. Upravljanje porudžbinom

Kao što se na slici može primetiti, distributer inicira kreiranje porudžbine i upućuje zahtev proizvođaču. Proizvođač ima pravo da prihvati ili odbije porudžbinu. Ukoliko je porudžbina prihvaćena, sledeći korak je rezervisanje traženih lekova, pod uslovom da su dostupni u odgovarajućim količinama. Distributer zadržava pravo da otkáže porudžbinu sve dok lekovi nisu rezervisani. Kada se lekovi rezervišu, oni postaju spremni za preuzimanje. Proces preuzimanja i dostave obavlja transporter.

4. IMPLEMENTACIJA

Serverska strana aplikacije implementirana je pomoću Java programskog jezika, verzije 17, i Spring Boot radnog okvira. Za realizaciju klijentskog dela aplikacije korišćen je Vue 3. Za razvijanje blockchain mreže korišćen je Hyperledger Fabric.

4.1. Konfiguracija blockchain mreže

Blockchain mreža je konfigurisana pomoću test-network primera koji je naveden u Hyperledger Fabric dokumentaciji. U test-network primeru, značajan broj konfiguracionih parametara je već podešen, a deo procesa pokretanja mreže je automatizovan pomoću skripti. Mrežu čine dve organizacije i jedan *orderer* čvor. Svaka od organizacija ima po jedan *peer* čvor.

Orderer čvor učestvuje u procesu postizanja konsenzusa i izmene ledger-a, dok peer čvorovi održavaju stanje i knjigu transakcija.

4.2. Povezivanje sa blockchain mrežom

Serverski deo aplikacije komunicira sa blockchain mrežom pomoću Blockchain Service mikroservisa. Ovo je moguće samo ukoliko se prvo uspostavi konekcija. Da bi se to postiglo, neophodno je registrovati administratora, čiji kredencijali su generisani od strane Fabric Certificate Authority (CA) klijenta.

Kako bi se aplikacija uspešno povezala sa CA klijentom potrebno je postaviti putanju do sertifikata od organizacije koja predstavlja aplikaciju. Zahtev za registraciju administratora šalje se CA-u koji verifikuje kredencijale i izdaje sertifikat. Ostali korisnici sistema se mogu registrovati samo ukoliko je administrator prethodno registrovan.

Kako bi se uspostavila konekcija sa blockchain mrežom koristi se Fabric Gateway, koji zahteva kredencijale prethodno registrovanih korisnika. Ako je konekcija uspešno ostvarena, moguće je pristupiti kanalu pomoću gateway-a, što dalje omogućava pristup instanci pametnog ugovora. Nakon dobijanja instance pametnog ugovora, nad njim je moguće pozvati bilo koju definisanu transakcionu metodu.

U ovom sistemu, blockchain mreža se koristi za praćenje kretanja porudžbina kroz lanac snabdevanja.

5. ZAKLJUČAK

U ovoj studiji istraživana je primena blockchain tehnologije u farmaceutskim lancima snabdevanja, sa posebnim osvrtom na njenu primenu u rešavanju ključnih izazova u industriji. Karakteristike blockchain-a, kao što su transparentnost i nepromenljivost, čine ga pogodnim rešenjem za unapređenje sledljivosti i sigurnosti ovih sistema.

Obezbeđivanjem nepromenljive evidencije transakcija, blockchain može doprineti očuvanju integriteta lanca snabdevanja, pomažući u sprečavanju prevara, falsifikovanih proizvoda i neefikasnosti. Ovo odgovara zahtevima za visok nivo pouzdanosti i tačnosti u farmaceutskoj industriji, što rezultuje povećanom bezbednosti pacijenata i boljom usklađenošću sa regulatornim standardima.

Primena blockchain tehnologije u ovoj industriji još je u ranoj fazi, međutim, pojedine kompanije su već počele da je koriste kako bi unapredile praćenje farmaceutskih proizvoda i suzbile problem falsifikovanih lekova. Najpoznatiji primer je projekat MediLedger, koji koriste poznate farmaceutske kompanije poput Pfizer-a.

Iako izazovi poput visokih troškova i potrebe za industrijskom standardizacijom i dalje postoje, blockchain tehnologija pokazuje ogroman potencijal za transformaciju

farmaceutskih lanaca snabdevanja. Obezbeđivanjem većeg nivoa sigurnosti, transparentnosti i efikasnosti, ona pruža čvrst okvir koji može značajno unaprediti ključne segmente procesa isporuke i distribucije lekova.

6. LITERATURA

- [1] P. Natalie, D. Gonsalvez, „The Top Ten Global Health Supply Chain Issues: Perspectives from the Field“, Operations Research for Health Care, Volume 3, Issue 4, pp. 226–230, 2014.
- [2] T. Bocek, B. B. Rodrigues, T. Strasser, B. Stiller, „Blockchains Everywhere - a Use-Case of Blockchains in the Pharma Supply-Chain“, 2017.
- [3] M. Gaynor, K. Gillespie, A. Roe, E. Crannage, J.E. Tuttle-Newhall, „Blockchain Applications in the Pharmaceutical Industry“, 2024.
- [4] Hyperledger Fabric Docs, <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/index.html> [Последњи приступ септембар 2024].
- [5] S. E. Fawcett, G. M. Magnan, M. W. McCarter, „Benefits, Barriers, and Bridges to Effective Supply Chain Management“, 2008.
- [6] P. Dutta, T. Choi, S. Somani, R. Butala, „Blockchain Technology in Supply Chain Operations: Applications, Challenges and Research Opportunities“, 2020.
- [7] S. A. Narayana, R. K. Pati, P. Vrat, „Managerial Research on the Pharmaceutical Supply Chain – A Critical Review and Some Insights for Future Directions“, 2014.
- [8] M. Wang, F. Jie, „Managing Supply Chain Uncertainty and Risk in the Pharmaceutical Industry“, 2019.
- [9] R. Pathak, V. Gaur, H. Sankrityayan, J. Gogtay, „Tackling Counterfeit Drugs: The Challenges and Possibilities“, 2023.
- [10] S. R. Bryatov, A. A. Borodinov, „Blockchain Technology in the Pharmaceutical Supply Chain: Researching a Business Model Based on Hyperledger Fabric“, 2019.

Kratka biografija:



Aleksandar Bjelobaba rođen je u Somboru 1999. godine. Osnovne akademske studije završio je 2022. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektronsko poslovanje odbranio je 2024. god. kontakt: aleksandar.apt@gmail.com

МЈЕРНО – УПРАВЉАЧКИ МОДУЛИ КОЧИОНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА MEASURING – CONTROL MODULES OF THE AUTOMOTIVE BRAKING SYSTEM

Сања Бјелић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МЕРНИ СИСТЕМИ

Кратак садржај – У овом раду описан је начин рада и компоненте електронских кочионих система возила. Описана је еволуција кочионих система од механичких до електронских кочионих система, као и њихових подсистема. Приказана је цјелокупна архитектура са примјерима алгоритама који се користе. Направљен је осврт на тестирање дијелова као и читавог система, у лабораторијама и на возилима да би се доказала исправност и ефикасност.

Кључне речи: Мјерење, управљање, кочиони систем, возила

Abstract – This paper describes the operation method and components of electronic braking systems on vehicles. The evolution of braking systems from mechanical to electronic braking systems, as well as their subsystems, is described. The entire architecture is presented with examples of the algorithms used. A review was made of the testing of parts as well as the entire system, in laboratories and on vehicles to prove correctness and efficiency.

Keywords: Measuring, controlling, braking system, vehicle

1. УВОД

Електронски кочиони системи представљају један од кључних технолошких напредака у аутомобилској индустрији омогућавајући прецизну контролу кочења путем електронске обраде података у реалном времену. Сензори прикупљају податке о стању возила, који се затим обрађују у микропроцесору. Микропроцесор, користећи софистициране алгоритме, на основу прикупљених података генерише одговарајуће команде за актуаторе.

Први кочиони системи били су потпуно механички, користећи једноставне механичке везе и силе трења. Увођењем хидрауличних система, почетком 20. вијека, кочење је постало ефикасније и поузданије јер је хидраулична течност омогућила равномјерну дистрибуцију силе кочења на све точкове. Међутим, повећањем брзине возила и захтјева за сигурношћу била су потребна додатна побољшања. Развој електронских кочионих система је почео средином 20. вијека увођењем првих ABS система.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Платон Совиљ, ред. проф.

Електронски кочиони системи омогућавају прецизну контролу кочења, као и смањење зауставног пута те омогућава возилу да боље РЕАГУЈЕ на хитне ситуације. Захваљујући електронским кочионим системима отвориле су се могућности за побољшање регенеративног кочења у електричним и хибридним возилима.

2. ПРЕГЛЕД КОЧИОНИХ СИСТЕМА

2.1 Традиционални кочиони системи

Механички кочиони системи су први тип кочионих система коришћених у возилима. Једноставни су за конструисање, што их чини и јефтиним за производњу. Међутим, механички кочиони системи имају и велике недостатке као што је ограничена ефикасност кочења јер механички пренос силе није тако ефикасан као хидраулични или електронски систем.

Бубањ (добош) кочнице су старији тип кочионог система, уведен почетком 20. вијека. Систем користи ротирајући бубањ причвршћен за облоге унутар бубња. Функционисање се заснива на кориштењу хидрауличне течности која преноси силу притиска од папучице до кочионих облога. Релативно су једноставни и јефтини за производњу. Један од главних недостатака ових кочионих система јесте склоност прегријавању.

Хидраулични системи су развијени почетком 20. вијека и користе хидрауличну течност за пренос притиска са папучице кочнице на кочионе цилиндри и тако омогућава ефикасније кочење у поређењу са механичким кочионим системима. Поред тога, равномјерна дистрибуција притиска на све кочнице резултује стабилнијим и контролисанијим кочењем. Један од главних проблема хидрауличних система је цурење течности. Ово су најраспрострањенији кочиони системи и данас.

Диск кочнице функционишу помоћу ротирајућег диска причвршћеног за точак возила и кочионих плочица које притишћу диск са обје стране како би створиле трење. Дизајниране су тако да омогуће ефикасну дисипацију топлоте и постале су стандард за предње кочнице.

Серво кочнице и двокружни кочиони систем настали су као еволуција хидрауличних система. Двокружни кочиони системи се користе да би се осигурала зауставна сила и ако се кочнице оштете јер предње и задње кочнице раде одвојено. Ако се оштети нпр. линија за довод уља према задњим кочицама и уље испури, још увијек ће постојати могућност кочења предњим кочицама. Један од значајнијих напредака у хидрауличним системима јесу серво кочнице. Мада

постоји мала конструктивна разлика у односу на класичне хидрауличне системе, резултати које дају сервохидраулични системи су веома велики. Он има једну нову компоненту која се зове серво појачавач. Овај систем користи вакуум из усисне гране мотора или електрични мотор за повећање притиска на главни кочиони цилиндар.

2.2 Модерни (електронски) кочиони системи

Antilock Braking System (ABS) је систем који се састоји од неколико компоненти, дизајнираних да спрече блокирање точкова. Када сензор детектује да точак блокира (што се манифестује наглим смањењем брзине ротације), електронска контролна јединица (ECU) интервенише тако што смањује притисак хидрауличне течности у кочионом цилиндру тог точка. Смањење притиска ослобађа точак, омогућавајући му да се поново почне окретати. Када се детектује да се точак опет слободно окреће, ECU поново повећава притисак како би максимизовао кочиону силу. Овај циклус смањења и повећања притиска може се поновити више пута у секунди, чиме се оптимизује кочење.

Electronic Stability Control (ESC) је систем који помаже возачима да одрже контролу над возилом у критичним ситуацијама, посебно током оштрих скретања или на клизавим површинама. Уведени су средином 1990-их. Ако возило почне да клизи или скреће више или мање од жељеног, ESC примјењује кочиону силу на један или више точкова како би се исправио правац возила.

Електро-хидраулични кочиони системи комбинују традиционалне хидрауличне компоненте са модерним електронским управљањем. Ови системи користе електронске сигнале за управљање хидрауличним притиском. Притисак у хидрауличним линијама генерише се и контролише електричним моторима који управљају хидрауличним пумпама. Електро-хидраулични системи су били важан корак ка увођењу потпуно електронских кочионих система јер су омогућили постепен прелазак са традиционалних на модерне технологије.

Електронски кочиони системи без хидраулике, познати као „**Brake-by-wire**“ (**BBW**) из 2000-их користе електричне сигнале уместо хидрауличне течности за контролу кочења, што омогућава још бржу и прецизнију контролу кочења. Развојем електронских педала кочнице, ECU-а, електронских актуатора и сензора притиска, овај систем је поставио темеље за будућност аутомобилске индустрије у погледу безбједности и перформанси.

Основни принципи **Regenerative Braking System-a (RBS)** почели су да се развијају 1990-их у специјализованим возилима, а технологија је достигла широку примјену тек у 2010-им појавом масовно произведених хибридних и електричних возила. Функционишу тако што користе електромоторе у возилу као генераторе током кочења. Када возач успорава или зауставља возило, електромотор преузима кинетичку енергију кретања и претвара је у електричну енергију која се затим складишти у батеријама. Регенеративно кочење такође смањује емисију топлоте, што доприноси дужем вијеку трајања кочионих компоненти чиме се смањују трошкови одржавања.

ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) представља комплексну мрежу напредних технолошких рјешења који синхронизују рад различитих сензора, софтвера и актуатора како би пружила возачу подршку у управљању возилом и повећала сигурност на путу. Ови системи функционишу као интелигентни асистенти који континуално анализирају услове вожње, околину и рад возила, реагујући брже и прецизније него што би било могуће искључиво људским дјеловањем. ADAS системи се ослањају на различите врсте сензора, укључујући камере, радар, *Lidar (Light radar)*, ултразвучне сензоре и GPS. Интегрисани сензори континуално шаљу податке централној јединици, која спаја информације добијене од сензора, анализирајући их како би се створила свеобухватна слика околине возила.

2.3 Интеграција напредних функција у модерне кочионе системе

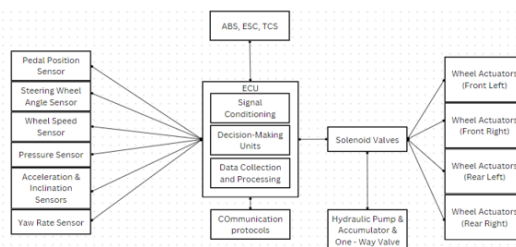
Traction Control System (TCS) користи се за спречавање проклизавања точкова приликом убрзавања, што је посебно корисно на клизавим или неравним површинама. Систем ради у комбинацији са сензорима брзине точкова како би пратио брзину ротације сваког точка. Када сензори детектују разлику у брзини ротације точкова, што указује на проклизавање, TCS одмах интервенише на два начина: први начин је смањење снаге мотора, а други начин је примјена кочница.

Automatic Emergency Braking (AEB) је сигурносни систем који аутономно активира кочнице возила када детектује опасност од судара, а возач не реагује на вријеме. Овај систем користи комбинацију технологија, укључујући радаре, камере и друге сензоре, како би пратио окружење око возила и идентификовао потенцијалне препреке, као што су друга возила, пјешаци, бициклисти или статични објекти.

Electronic Brakeforce Distribution (EBD) је напредна технологија која оптимизује расподелу кочионе силе између предњих и задњих точкова возила. EBD систем користи сензоре за праћење брзине возила, оптерећење и притисак кочнице. На основу ових података EBD прилагођава кочиону силу како би се постигла оптимална стабилност и сигурност возила.

3. АРХИТЕКТУРА И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА КОЧИОНОГ СИСТЕМА

3.1 Архитектура електронског кочионог система



Слика 1. Општа архитектура кочионог система
Папучица кочнице је прва компонента коју возач активира при кочењу. Када је притиснута она преноси механичку силу на „*Pedal Simulator*“. Осјећај притиска и отпора који папучица пружа возачу симулира онај у традиционалним хидрауличним системима. Сензор

позиције педале мјери прецизан положај папучице кочнице, укључујући и брзину притиска. Овај сензор детектује положај папучице и преноси информације електронској контролној јединици (ECU) као електрични сигнал. ECU је централни процесор система, одговоран за прикупљање, обраду и доношење одлука на основу података са различитих сензора. Састоји се од неколико модула и јединица:

Signal conditioning module иницијално обрађује сигнале који долазе са сензора, филтрира шумове, појачава сигнал и стабилизује их.

Data collection and Processing Module је одговоран за прикупљање података са различитих сензора инсталираних у возилу. Након прикупљања, подаци се обрађују унутар ECU-а користећи напредне алгоритме. ECU анализира тренутне услове вожње као што су брзина возила, углови волана, динамика возила и предвиђа потребне акције за оптимално кочење и одржавање стабилности.

Decision – making units унутар ECU-а су одговорне за доношење свих одлука које се тичу прилагођавања кочионог система. ECU одређује и контролише оптималан притисак у хидрауличним линијама да би се кочиона сила примјењивала на одговарајући начин.

Соленоидни вентили функционишу на основу електромагнетног принципа. Када ECU пошаље електрични сигнал солениду, електромагнет унутар вентила активира механички механизам који може отворати или затворати вентил те се регулише проток хидрауличне течности кроз систем. Хидраулична пумпа је одговорна за генерисање потребног притиска у хидрауличном систему. Акумулатор служи за стабилизацију притиска у хидрауличном систему. Ова компонента складишти хидрауличну течност под виском притиском. Неповратни вентил уграђен је у систем да би се осигурала једносмјерна циркулација хидрауличне течности. *Wheel actuators* служе за примјену кочионе силе на дискове. Могу бити хидраулични или електромеханички у зависности од дизајна система

3.2 Хардверски дио

Wheel Speed Sensors (сензори брзине точкова) мјере брзину ротације точкова омогућавајући контролу брзине ротације сваког точка појединачно. Магнетни сензори за брзину точкова функционишу на принципу *Hall*-овог ефекта док индуктивни сензори, познати као пасивни сензори, функционишу на основу електромагнетне индукције.

Сензори притиска су уређаји који прецизно мјере притисак у хидрауличним системима. Када притисак дјелује на мембрану сензора, она се савија или деформише, што доводи до промјене у електричном отпору или капацитивности материјала у зависности од типа сензора.

Сензори убрзања (акцелерометри) и сензори угаоне брзине имају важну улогу у системима за безбједност и контролу возила. Оба типа сензора у аутомобилској апликацији најчешће користе MEMS (*Micro – Electro – Mechanical - Systems*) технологију.

Информације сензора положаја се користе у бројним аутомобилским системима, укључујући електронску контролу стабилности (ESC), системе помоћи при

паркирању и адаптивни темпомат. Ови сензори мјере положај важних компоненти, као што су волан и педала кочнице.

Микроконтролери представљају компоненте које омогућавају управљање комплексним функцијама, морају испунити захтјеве високе процесорске моћи, велике меморије и напредних улазно – излазних интерфејса како би се осигурали сигурност и перформансе. Микроконтролери, као што је на примјер AURIX TC4x серија, који су базирани на *TriCore* архитектури, интегришу више процесорских језгара и напредне функције. Оваква архитектура омогућава извршавање сложених алгоритама у реалном времену. Микроконтролери у аутомобилским системима морају бити способни да раде у екстремним условима, с обзиром на то да су возила изложена различитим климатским и механичким стресовима.

Електромагнетни вентили раде тако што користе електричну енергију за креирање магнетног поља унутар соленида, који онда покреће клип (плунжер) да отвори или затвори вентил. Када се електрична струја доведе у завојницу, она ствара магнетно поље које привлачи клип према горе или га гура надоле, зависно од конструкције.

Хидрауличне пумпе се користе у традиционалним и електро-хидрауличним кочионим системима, а раде тако што претварају механичку енергију у хидраулични притисак.

Електромоторни актуатори су компоненте које претварају електричну енергију у механички рад. Електромотор генерише ротациони покрет када добије електрични сигнал из контролне јединице возила који се преноси на редуктор који смањује брзину ротације и повећава обртни момент.

3.3 Софтверски дио

Електронски кочионни системи (EBS) представљају сложене технолошке системе који интегришу различите контролне алгоритме који имају задатак да управљају кочењем. *Fuzzy* контролни систем је систем заснован на „*fuzzy*“ логици - математички алгоритам који анализира аналогни улаз вриједности у смислу логичких варијабли које попримају континуалне вриједности између 0 и 1. Улазне промјенљиве у *Fuzzy* алгоритму се обично мапирају на скупове функција припадности, који су познати као „*fuzzy* скупови“. *Fuzzy* контролери се састоје од три главне фазе: улазне фазе, фазе обраде и излазне фазе.

Real-time обрада података значи да се подаци прикупљени са различитих сензора обрађују тренутно, а на основу тих података доносе се одлуке које се одмах примјењују. Оперативни системи (RTOS) управљају обрадом података тако што задацима додјељују приоритете и контролишу њихово извршавање у тачно одређеним временским оквирима.

Како би се обезбиједила стандардизација софтверских компоненти у аутомобилским ECU јединицама током 90-их година је развијен OSEK/VDX. Сврха овог стандарда била је да се смањи сложеност развоја и одржавања ECU софтвера кроз унапријед дефинисану архитектуру. AUTOSAR је настао као еволуција OSEK/VDX-а због све веће сложености ECU јединица у савременим возилима. Сврха овог стандарда је да

обезбиједи модуларну, флексибилну и скалабилну софтверску архитектуру која омогућава произвођачима аутомобила и добављачима да лакше интегришу и поново користе софтверске компоненте у различитим системима возила.

3.4 Комуникација унутар EBS-а

Комуникација унутар електронског кочионог система ослања се на различите комуникационе протоколе који омогућавају брз и поуздан пренос података између различитих компоненти. Међу најважнијим протоколима који се користе су CAN (*Controller Area Network*), LIN (*Local Interconnect Network*) и FlexRay. CAN (*Controller Area Network*) је најчешће коришћен протокол у EBS-у због својих јединствених карактеристика које омогућавају ефикасну и поуздану комуникацију између компоненти у реалном времену. То је мултимастер серијски комуникациони протокол који омогућава микроконтролерима и ECU јединицама у возилу да комуницирају преко само два кабла. Ради на принципу диференцијалне сигнализације, што значи да два проводника преносе супротне сигнале (CAN_H и CAN_L), чиме се повећава отпорност на електромагнетске сметње.

4. ТЕСТИРАЊЕ EBS-А

Тестирање електронских кочионих система неопходно је за провјеру поузданости, ефикасности и сигурности система. Систем се састоји од више компоненти као што су кочиони дискови, сензори, актуатори и контролне јединице. Свако тестирање је подијељено на различите нивое и типове како би се осигурало да систем функционише правилно у свим сценаријима вожње. Врсте тестова који се користе у процесу тестирања су *Unit* тестови, интеграциони тестови, системски тестови и перформанс тестови. Осим ових основних врста тестирања, важну улогу играју и софтверске симулације.

Лабораторијско испитивање електронског кочионог система (EBS) је основни корак у провјери исправности система прије него што се подвргне тестирању у реалним условима. Ова фаза обухвата испитивање појединачних компоненти као што су кочиони дискови, сензори притиска, актуатори и контролне јединице.

Симулације представљају једну од метода тестирања система. Њихова примјена омогућава инжењерима да испитају различите сценарије кочења у контролисаним виртуелним условима, гдје могу тестирати перформансе и поузданост система без потребе за физичким тестирањем на возилу. У комбинацији *ca test bench*-евима, симулације пружају додатну прецизност јер се неке компоненте могу физички тестирати уз симулиране услове. Софтверски алати као што су *MATLAB*, *Simulink*, *CANoe*, и *CarSim* омогућавају прецизну симулацију, анализу и оптимизацију компоненти и алгоритама који управљају системом.

Након што електронски кочиони систем прође кроз фазу лабораторијског тестирања и софтверских симулација, наредна фаза је тестирање система у реалним условима вожње. Овај процес укључује испитивање како EBS реагује у различитим ситуацијама на путу, укључујући нормалне и екстремне услове вожње.

5. ЗАКЉУЧАК

Електронски кочиони системи (EBS) значајно доприносе побољшању сигурности, ефикасности и перформанса возила. Са интеграцијом савремених технологија EBS омогућава прецизну контролу кочења у реалном времену. Будући системи ће морати бити у стању да се прилагоде новим инфраструктурним рјешењима у оквиру паметних градова, гдје ће кочиони системи комуницирати са околином, добијати информације од путних инфраструктура.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Xuehui Hua; Jinbin Zeng; Haoxin Li; Jingkai Huang; Maolin Luo; Xiaoming Feng; Huiyuan Xiong; Weibin Wu, A Review of Automobile Brake-by-Wire Control Technology
- [2] Kanak Sunil Patil; Prasad Pandhareenath Desai, Regenerative Braking Systems, 2024.
- [3] Ken Pickerill, Today's technician classroom manual for automotive brake systems, Seventh Edition, 2018
- [4] Dhvanit Panchal D; Arjun Patel V; Dhaval Zala, Anti-Lock Braking System
- [5] Nicholas Goodnight; Kirk VanGelde, Automotive Braking Systems, 2019.
- [6] Karl-Heinz Dietsche; Konrad Reif, Bosch Automotive Handbook, 2022.
- [7] Fuzzy Control System.pdf
- [8] Peter KOŽUCH; Ľubomír HUJO; Ľukasz MUŚLEWSKI2; Marietta MARKIEWICZ-PATALON, Dynamic and Stationary Testing of Vehicle Braking Systems, 2023.
- [9] Halim Davista; Syafri; Febliil Huda; Kaspul Anuar, Analysis of the Braking System in the Gardapati Energy Saving Car Prototype, 2023.

Кратка биографија:



Сања Бјелић рођена је у Бањалуци 1997. године. Од 2020. ради као систем инжењер у аутомобилској индустрији. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Мерни Системи – Мјерно – управљачки модули кочионог система возила одбранила је 2024. године.

САВРЕМЕНИ КОМПОЗИТИ ЗА ЗИДАЊЕ СА КЕРАМИЧКИМ ПРАХОМ CONTEMPORARY MASONRY COMPOSITES BLENDED WITH CERAMIC POWDER

Момчило Братић, Слободан Шупић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Рад се састоји из истраживачког и практичног дела. У оквиру истраживачког дела дат је увид о врсти, настанку, количини, управљању и могућој примени отпада од грађења и рушења. У практичном делу се говори о настајању, својствима и примени керамичког отпада као нуспродукта током производње керамичких материјала. Посебно је посвећена пажња примени керамичког праха као замене дела цемента у производњи иновативних, еколошки подобнијих малтера за зидање и малтерисање. Сprovedено је и експериментално истраживање, где је урађена карактеризација материјала, као и испитивање својстава свежег и очврслог малтера за 10 различитих малтерских мешавина, у којима је вариран запремински однос чврстих компоненти и ниво супституције цемента керамичким прахом (до 80%).

Кључне речи: отпад од грађења и рушења, керамички прах, замена цемента, еко-малтери.

Abstract – The work consists of a research and a practical part. The research part provides insight into the types, origins, quantities, management, and possible applications of construction and demolition waste. The practical part discusses the origin, properties, and application of ceramic waste as a by-product during the production of ceramic materials. Special attention is given to the use of ceramic powder as a cement substitute in the production of innovative, eco-friendly mortars for masonry and plastering. Own experimental research included the characterization of materials and testing of the properties of fresh and hardened mortar on 10 different mortar mixtures, in which the volume ratio of solid components and the level of cement substitution with ceramic powder (up to 80%) were varied.

Keywords: construction and demolition waste, ceramic powder, cement replacement, eco-friendly mortars.

1. УПРАВЉАЊЕ И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ГРАЂЕВИНСКОГ ОТПАДА

Отпад од грађења и рушења јесте отпад који настаје извођењем грађевинских и других радова на изградњи и рушењу објеката, адаптацијама, реновирању,

реконструисању стамбених, индустријских и других објеката, одржавању и замени инфраструктурних објеката, као и ископима за стамбену, индустријску и путну инфраструктуру. Врсте грађевинског отпада укључују минерални, метални, дрвени, пластични, стаклени, опасни, комбиновани отпад и отпад изолационих материјала. Отпад од грађења и рушења чини више од трећине укупног отпада који се ствара у ЕУ, а на основу тренутних количина и одабраних економских показатеља, очекује се да ће 2030. године у Републици Србији бити произведено најмање 2,4 милиона тона грађевинског отпада. Од тога највећи део чине бетон и керамика, не рачунајући земљу из ископа. Отпад и неадекватно управљање њиме представља један од највећих проблема са аспекта заштите животне средине Републике Србије, стога постоје значајни законски оквири и директиве који имају за циљ смањење количине отпада, његово правилно управљање и повећање стопе рециклаже.

Велике количине грађевинског отпадног материјала се могу поново искористити након процеса рециклаже и припреме за поновну употребу: рециклирани агрегати из бетонског отпада углавном се користе за изградњу путева и попуњавање земљишта, уз могућност примене у производњи бетона до 30% рециклираног агрегата, отпадно дрво се рециклира за производњу иверичних плоча, отпадни гипс се рециклира у нове гипсане плоче или користи у производњи цемента, рециклирана опека се користи за изградњу путева или као пуцоланска замена за цемент након додатне обраде, EPS изолација се обично рециклира у нову изолацију или лаке бетоне.

2. МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ КЕРАМИЧКОГ ОТПАДА

2.1. Настанак и потенцијал за поновну примену керамичког отпада

Керамички отпад може потицати из производње или демонтаже великог броја производа, као што су: зидне и подне плочице, опеке и кровне плочице, кућна керамика, санитарни инвентар, техничка керамика, стаклене глинене цеви, експандирани глинени агрегати, неоргански везани абразиви. На глобалном нивоу је процењено да се керамички отпад генерише у односу 15-30% од укупне количине током производње. И овај отпад загађује тло, ваздух и заузима простор за одлагање. Тренутно не постоји ефикасан начин за рециклажу овог отпада, а уз то он је робустан, дуготрајан и отпоран на хемијске утицаје.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био др Слободан Шупић, доцент.

Керамички отпад може обухватити широк спектар примена, као што су замена цемента, замена ситног и крупног агрегата у производњи бетона, материјал за испуну у изградњи путева, производња водонепропусних малтера и бетона, производња зидних и подних керамичких плочица.

2.2. Керамички прах

Млевењем керамичког отпада добија се фин материјал који се користи као замена за део цемента у грађевинским смешама, посебно у производњи малтера и бетона. Млевење керамичког отпада, као што су одбачене керамичке плочице или производни остаци, даје прах са пуцоланским својствима, што значи да може хемијски реаговати са калцијум-хидроксидом у присуству воде, формирајући хидраулично везиво. Овај процес омогућава рециклажу и смањење количине керамичког отпада, истовремено доприносећи смањењу негативног утицаја производње цемента на животну средину. Поред тога, керамички прах се може користити као замена за ситни агрегат у производњи бетона и малтера, чиме се постиже значајна уштеда природних ресурса.



Слика 1. Изглед керамичког праха

3. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МАТЕРИЈАЛА

3.1. Подаци о компонентним материјалима

Цемент

За експериментално истраживање одабран је обичан портланд цемент ознаке OPC 42,5R (CEM I 42,5R), порекла – фабрика цемента " Lafarge" у Беочину. Цемент испуњава услове квалитета према Правилнику о квалитету цемента. У Лабораторији за испитивање грађевинских материјала проверена су основна физичка и механичка својства цемента према стандардима SRPS EN 196-1, SRPS EN 196-3 и SRPS EN 196-6.

Агрегат

При пројектовању састава малтерских мешавина коришћен је речни фракционисани агрегат из реке Дрине (сепарација – Сремска Митровица), крупноће 0/4mm .

Минерални додаци (керамички прах)

Керамички прах је добијен из процеса производње керамичких блокова у производном постројењу NEXE Стражилово, Петровадин. Ови елементи су прво грубо дробљени, а затим фино самлевени у лабораторијском млину до одговарајућег степена финоће (финоћа блиска финоћи цемента).

Након припреме узорака керамичког праха испитана су њихова физичка својства: специфична маса, специфична површина по Блену, те механичка и пуцоланска својства: класа пуцоланске активности и индекс активности, према релевантним стандардима.

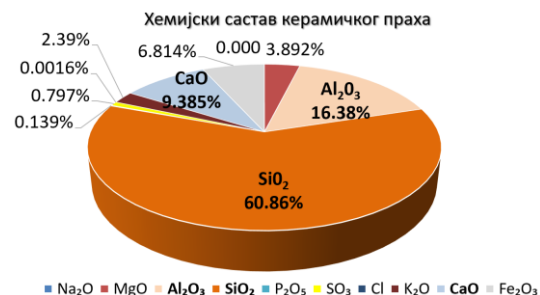
Испитивање класе пуцоланске активности је приказано на слици 2. Малтери су припремљени од хидратисаног креча, керамичког праха и стандардног кварцног песка са следећим масеним односима: 1: 2: 9, респективно, и водовезивним односом 0,5. Испитивањем је постигнута висока класа пуцоланске активности – класа 10, што указује на то да је керамички прах показао способност да реагује са калцијум хидроксидом при чему су формирана нова хемијска једињења, што указује на његову пуцоланску активност. Ово својство чини керамички прах погодним за употребу у малтерима, као замена дела цемента.



Слика 2. Испитивање пуцоланске активности керамичког праха

Финоћа материјала је одређена као процентуални остатак керамичког праха на сити 0,045mm. У овом поступку испитивања – „Air Jet“ методом просејавања (просејавање ваздушним путем под притиском) у складу са процедуром датом у стандарду EN 933-10 – 50g материјала, претходно осушеног на 110 °C, се просејава на сито, почевши од сита са најмањим отвором (0,045mm), те се одређује процентуални остатак на сити. Имајући у виду јако мали процентуални остатак на сити 0,045mm, овим је потврђена јако велика финоћа млива материјала.

Испитивање хемијског састава керамичког праха, одређивање садржаја реактивног SiO₂, слободног CaO, растворљивих фосфата и елемената у траговима, урађено је у складу са стандардима: EN 196-2 и ISO 29581-2. Резултати су приказани на слици 3.



Слика 3. Хемијски састав керамичког праха

4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ САСТАВА, СПРАВЉАЊЕ И ИСПИТИВАЊЕ СВОЈСТАВА ЕКОЛОШКИХ ПРОДУЖНИХ МАЛТЕРА

4.1. Пројектовање састава

У циљу проналаска оптималног састава еколошки подобнијег малтера за зидање, који се може користити у грађевинској пракси за зидање носећих и

неносећих конструкција, пројектован је састав и справљено је укупно 10 различитих малтерских мешавина. Односи мешања чврстих компоненти (по запремини у растреситом стању) су за референтни цементни малтер варијани на следећи начин: 1:1:5, 1:0,7:4,2 и 1:1:4 (цемент/креч/песак).

У групи малтера са запреминским односом 1:1:5, цемент је супституисан са 50% керамичког праха, а у преосталим групама ниво супституције цемента је вариран у процентима: 50%, 60% и 80%. Ознаке мешавина и састави за све малтерске мешавине су дате у табели испод.

Малтер	m_c (g)	m_k (g)	m_p (g)	m_{kp} (g)	w/b	m_v (g)
C1	161,4	74,0	1350	/	1,15	270,7
K1-50	80,7	74,0	1350	61,8	1,30	281,5
C2	193,7	59,2	1350	/	1,05	265,6
K2-50	96,9	59,2	1350	74,2	1,20	276,3
K2-60	77,5	59,2	1350	89,0	1,20	270,9
K2-80	38,7	59,2	1350	118,7	1,25	270,8
C3	201,8	92,5	1350	/	0,90	264,9
K3-50	100,9	92,5	1350	77,3	1,00	270,7
K3-60	80,7	92,5	1350	92,7	1,05	279,3
K3-80	40,4	92,5	1350	123,7	1,07	274,5

m_c -маса цемента; m_k - маса креча; m_p - маса песка;
 m_{kp} - маса керамичког праха; m_v - маса воде; w/b-
 водовезивни фактор.

Табела 1. Састав компоненти малтерских мешавина

4.2. Справљање малтера

Справљање малтерских мешавина извршено је у лабораторијском миксеру за малтере. Дозирање састојака и време мешања компоненти како би се постигле тражене карактеристике, као што су чврстоћа, обрадљивост и пријањање, обухвата стандард SRPS EN 998-2. Након мешања, узорци се ручно уграђују у калупе у два слоја и припремају за негу пре испитивања.



Слика 4. Поступак справљања малтера

4.3. Испитивање својстава свежег малтера

Конзистенција

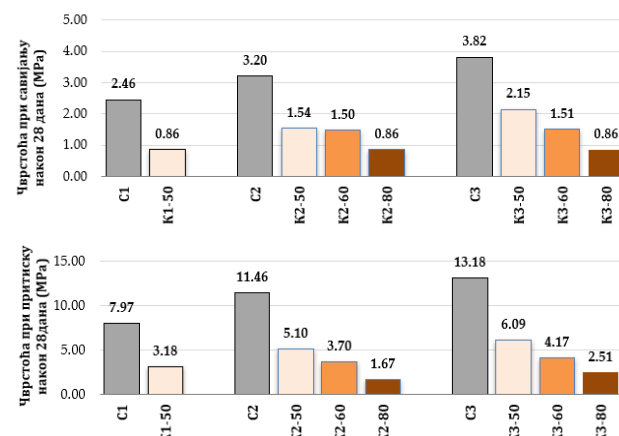
Конзистенција малтера се изражава као просечна вредност пречника круга малтера (у mm) након 15 удара потресног стола. Овај резултат указује на течност и обрадивост малтера. Са повећањем удела керамичког праха расте и водовезивни фактор, што је последица велике финоће млива керамичког праха, па је било потребно додати више воде у односу на

референтни малтер за постизање захтеване конзистенције од 175 ± 10 mm.

4.4. Испитивање својстава очврслог малтера

Чврстоћа малтера при савијању и притиску

Стандард EN 1015-11 прописује методе за испитивање чврстоће на савијање и чврстоће на притисак малтера за зидање. Чврстоћа на савијање узорака димензија 40x40x160mm је испитана на Михаилисовој ваги. Након испитивања узорака на савијање, свака половина поломљене призме се испитује на притисак у хидрауличној преси. Резултати испитивања наведених својстава су приказана на слици 5.

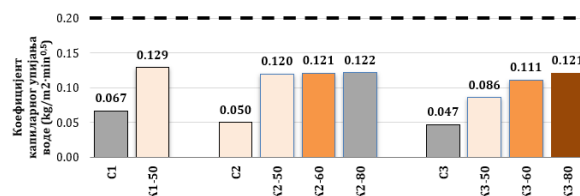


Слика 5. Резултати испитивања чврстоће малтера на савијање и притисак након 28 дана

Капиларно упијање воде очврслог малтера

Испитивање се спроводи у складу са SRPS EN 1015-18, а омогућава оцену постојаности малтера при дејству воде. На основу добијених резултата испитивања капиларног упијања воде (Слика 6), може се приметити да са заменом цемента и порастом удела керамичког праха расте вредност упијања воде, што је последица већег водовезивног фактора, па самим тим и веће капиларне порозности малтера. При старости од 90 дана, као резултат одложене пуцоланске реакције, накнадног формирања C-S-H продуката и згушњавања структуре композита, регистровано је смањење капиларног упијања.

Будући да сви малтери имају вредности капиларног упијања испод $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$, испуњавају услов за категорију W2, тако да је општи закључак да замена цемента керамичким прахом не утиче на промену категорије капиларног упијања воде.

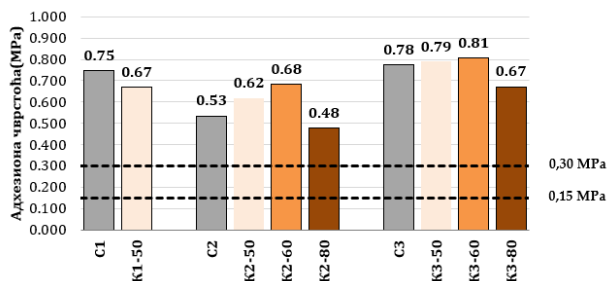


Слика 6. Вредности коеф. капиларног упијања воде након 90 дана за различите врсте малтера

Испитивање адхезије

Један од најважнијих захтева за малтер за зидање је адхезиона чврстоћа, јер недостатак или губитак

адхезије смањује интегритет конструкције и век трајања. Регулатива за малтере за малтерисање (SRPS EN 998-1) декларише минималну вредност од 0,3 MPa за употребу малтера за малтерисање, док регулатива за малтер за зидање (SRPS EN 998-2) захтева минималnu вредност од 0,15 MPa. Сви испитани малтери су испунили захтеве за примену за малтерисање и зидање.



Слика 7. Резултати испитивања адхезионе чврстоће

5. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказани резултати сопственог експерименталног истраживања могућности примене керамичког праха, генерисаног уситњавањем отпада из керамичке индустрије Војводине, као потенцијалне замене дела цемента у савременим малтерима за зидање. На основу добијених резултата, могу се извести следећи закључци:

- ❖ Замена цемента керамичким прахом резултује падом обрадљивости малтерске мешавине, што је последица облика честица керамичког отпада након механичког уситњавања и веће апсорпционе моћи грубе грађевинске керамике. У циљу постизања захтеване конзистенције малтера за зидање а у којима је део цемента замењен керамичким прахом је додата одређена количина воде, те је повећан и водовезивни фактор.
- ❖ Повећање водовезивног фактора се негативно одразило на физичка и механичка својства малтера. Са повећањем нивоа замене цемента керамичким прахом, повећана је и капиларна порозност, што је резултовало већим капиларним упијањем воде и нижим механичким својствима малтера. Ипак, поједини малтери су задовољили услове за зидање носећих зидова (класа која одговара просечној чврстоћи при притиску малтера од 5 MPa). Са аспекта адхезије, показано је да замена цемента керамичким прахом нема велики утицај на анализирана својства малтера.
- ❖ Цемент је један од највећих глобалних емitera гасова стаклене баште. Замена дела цемента локално доступним материјалима је, у овом контексту заштите животне средине, врло пожељна.

На основу спроведеног прегледа литературе, као и резултата сопственог експерименталног истраживања закључује се да примена керамичког праха у оптималним количинама у производњи малтера за зидање не само да може пружити важне еколошке предности, већ може бити упоређива са конвенционалним малтерима на бази креча и цемента у смислу захтеваних перформанси.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон о управљању отпадом, „Службени гласник РС”, [ЛИНК](#)
- [2] European Commission, Construction and demolition waste, [ЛИНК](#)
- [3] Techno-economic and environmental assessment of construction and demolition waste management in the European Union, [ЛИНК](#)
- [4] Mario C.: The use of ceramic waste aggregates in concrete: a literary review, 2014, [ЛИНК](#)
- [5] Bala B. Y., Sai K. G. E., Gedddada Y.: Study of concrete behavior by partial replacement of cement with Ceramic Waste Powder in the presence of Sisal fiber, Materials Today, 2023, [ЛИНК](#)
- [6] Alsaif A.: Utilization of ceramic waste as partially cement substitute – A review, Construction and Building Materials, 2021, [ЛИНК](#)
- [7] SRPS EN 196-1: Методе испитивања цемента - Део 1: Испитивање чврстоће. Београд: Институт за стандардизацију Србије; 2008.
- [8] SRPS EN 196-6: Методе испитивања цемента - Део 6: Одређивање финоће млива. . Београд: Институт за стандардизацију Србије; 2011.
- [9] SRPS EN 197-1: Цемент - Део 1: Састав, спецификације и критеријуми усаглашености за обичне цemente. Београд: Институт за стандардизацију Србије; 2013.
- [10] SRPS EN 196-2:2013: Method of testing cement - Part 2: Chemical analysis of cement.
- [11] SRPS EN 998-2:2017: Спецификација малтера за зидање конструкције – Део 2: Малтер за зидање

Кратка биографија:



Момчило Братић рођен је 09.07.2000. у Требињу. Студент је мастер академских студија грађевинарства, смер конструкције. Тренутно је запослен у ГАТ ДОО. Контакт: braticmomcilo@gmail.com



Слободан Шупић рођен је 1989. године у Требињу. Од 2020. ради као доцент на Факултету Техничких Наука, ужа научна област: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција.

МОДЕРНИЗАЦИЈА И УБРЗАЊЕ ПРОЈЕКТОВАЊА У САВРЕМЕНОМ ДОБУ**MODERNISATION AND ADVANCEMENT OF DESIGN PROCESSES IN THE MODERN AGE**Владимир Тошић, Игор Пешко, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО**

Кратак садржај – У оквиру мастер рада „Модернизација и убрзање пројектовања у савременом добу“ урађена је ретроспектива начина пројектовања кроз време. Обухваћене су четири епохе које су донеле значајне промене у сфери пројектовања. Свака епоха је описана на основу технолошког напретка, затим њених предности и мана, разлога зашто је трајала неко одређено време и која епоха ју је наследила. Модернизација и убрзање су уско повезани са напретком развоја технологије. Сматра се да ће у будућности услед све бржег развоја технологије све чешће долазити до нових епоха у пројектовању.

Кључне речи: *Пројектовање, софтвери, вештачка интелигенција, градитељство, убрзање, модернизација, BIM, CAD*

Abstract – *The master's thesis "Modernization and Advancement of Design Processes in the Modern Age" shows a retrospective of design methods over time and covers four eras that brought significant changes in the field of design. Each era is described based on technological progress, its advantages and disadvantages, the reasons why it lasted for a certain time and which era succeeded it. Modernization and advancement are closely related to the progress of technology development. It is believed that in the future, due to the increasingly rapid development of technology, new epochs in design will occur more and more often.*

Keywords: *Design, software, artificial intelligence, construction, advancement, modernization, BIM, CAD*

1. УВОД

Рад обрађује четири епохе пројектовања које су се догодиле у модерном добу. Прва од четири епохе је представљала ручну израду пројектата, док су наредне три обухватале пројектовање применом софтвера. Развојем и унапређењем софтвера кроз време добили смо три различите епохе од којих је свака следећа додатно убрзавала и модернизовала израду софтвера, тако да не могу све бити обухваћене као целина.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Игор Пешко, редовни професор.

Потпуно различити начини функционисања ових софтвера су довели до стварања ових различитих епоха.

2. РУЧНА ИЗРАДА ПРОЈЕКТАТА – ПРВА ЕПОХА

Прва епоха којом се овај рад бави везана је за ручну израду пројектата. Начин и техника пројектовања који су примењивани тада, изискивали су ангажовање великог броја људи. Пре свега, цртање пројектата је захтевало много времена због тога што се све морало цртати ручно [1] [2].

Укупно гледано, свака позиција радова који су обухватили један пројекат морала је да се ради засебно, и практично од нуле. Почетак сваке наредне ставке пројекта је био празан бели папир који је било потребно испочетка попуњавати подацима и информацијама, као да никаквог претходно одрађеног цртежа или прорачуна није ни било.

2.1 Алати за израду пројекта

- Цртачки столови и табле
- Оловке и бојице
- Прибор за брисање
- Рапидографи, мастила
- Лењери
- Шестари
- Шаблони
- Планиметар
- Папир
- Гештетнер

2.2. Предности и мане овог начина пројектовања**Мане**

- Много алата потребно за израду цртежа
- Много људи потребно за израду цртежа, што самим тим захтева већу организованост, и више простора за грешке.
- Већа површина просторија у којима се израђују цртежи због гломазних цртачких столова
- Дуготрајан посао, због споре израде цртежа, а самим тим и спора израда пројекта
- Учестала израда цртежа из почетка услед неопходних преправки, или потребе за цртањем истих основа са минималним корекцијама



- Немогућност брзог преправљања цртежа – међусобна неповезаност цртежа основе и пресека

Предности

- Више радних места (што за цртаче то јест техничаре, то и за фабрике које се баве производњом алата)
- Независност од савремених технологија, струје, интернета.
- Здрављи положај приликом цртања, повремено стајање, и седење.
- Уредност инжењера (техничко писање, уредно цртање)



2.3. Закључак

Гледајући из угла времена одигравања прве епохе, овај метод пројектовања био је напредак у односу на педесетак година раније, када алати као што су калкулатори, машине за копирање или неке друге алатке, нису биле у употреби. Међутим, треба имати у виду да у епохама које следе, велика већина ових алатки одлази у историју и застарева, што потврђује константну људску жељу за напретком у свим сферама живота па и у грађевинарству и архитектури.

3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРИМЕНОМ СОФТВЕРА

Свет пројектовања у потпуности је изменило откриће и примена софтвера. У глобалном смислу, софтвери који се користе за сврху пројектовања објеката, било у оквиру грађевинског или архитектонског дела, могу се поделити у две велике групе: „CAD“ и „BIM“ софтвере [3].

3.1. „CAD“ софтвери – друга епоха

Сам назив ових софтвера „CAD“ је потекао од скраћенице са енглеског језика „Computer Aided Design“ што у преводу значи пројектовање помоћу компјутера, тј. компјутерски потпомогнуто пројектовање. Представљају софтвере којима се добија електронска датотека која може даље служити за различите намене, за штампање, као шаблон за машинске операције, производне процесе итд. Примена ових софтвера представља процес дигиталног креирања шаблона који могу бити представљени у 2Д или 3Д приказу [4].

3.2. Популарни „CAD“ софтвери

- **AutoCAD** - код нас апсолутно најпопуларнији софтвер из ове групе. Рад у овом софтверу је убачен у план и програм стручних грађевинских средњих школа. Представља поприлично једноставан програм где се путем уношења команди и померањем курсора исцртавају сви жељени облици.
- **SolidWorks** - Помоћу њега се могу моделовати тродимензионални делови и склопови који се касније користе у свим сферама индустрије, од којих је главни

акценат на машинској и електро индустрији. Сложени делови, са пуно детаља и обим површинама, могу се брзо и лако моделовати, а затим уклопити са другим елементима и направити сложени склоп [5].

- **CATIA** – Као и претходни софтвер, и овај се користи за израду делова или склопова комплексних површина и неправилних облика. Потребни елементи се израђују у тродимензионалном облику, одакле и потиче име овог софтвера - „CATIA“ (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application – компјутерски вођена тродимензионална апликација).

3.3. Предности и мане “CAD” програма у односу на цртање без употребе софтвера

Практично главна предност ових софтвера је у томе што је монитор рачунара бесконачно велик папир, који може колико год је потребно да уближи одређени део цртежа, што самим тим доприноси највећој могућој прецизности цртежа који се израђују. Нема више потребе да се цртежи израђују у одређеним размерама и да се конвертују димензије, већ се они раде у природној величини, размери 1:1, где се затим приликом штампе бира размера у којој желимо добити папирну верзију цртежа.

У почетку је ману представљала и висока цена за набавку самог рачунара, а затим и софтвера и лиценци потребних за израду цртежа. С временом је рачунар постао свакодневно средство рада тако да његова цена није више представљала проблем за компаније. Као мана се може навести константно надограђивање хардвера, пошто се развој хардверских делова одвија веома брзо, тако да је неопходно константно усавршавање.

3.4. Закључак

Сагледавајући наведене предности и мане које је овај софтвер донео у свет пројектовања, у односу на период ручне израде цртежа, чињеница је да је много више предности услед његове примене, него мана.

4. BIM СОФТВЕРИ – ТРЕЋА ЕПОХА

Смисао БИМ методологије је повезивање свих пројектантских дисциплина који су ангажовани на изради пројекта. Њиховом међусобном сарадњом, и обрадом једног, примарног, модела, ми све информације централизујемо на њему, и склапамо у целину. Омогућава рад више корисника истовремено, који могу да мењају и додају информације о конструкцији, материјалима, инсталацијама итд. Представља процес стварања и међусобног руковођења пројектним подацима у току саме израде пројекта [6].

4.1. Концепт линије

На сличан начин као што је „CAD“ постао доминантан над ручним цртањем, и „BIM“ је постао наспрам „CAD“ софтвера. Увео је једну новину и тиме многоструко убрзао како израду пројекта, тако чак и праћење експлоатације тих објеката. Та новина је представљала повезивање свих делова пројекта у

једну целину. Она иста линија из „CAD“ програма која је могла представљати делове најразличитијих елемената, сада пре него што се повуче, обогаћује се мноштвом информација, директно везаним са осталим деловима пројекта. На тај начин, њеним повлачењем одрађујемо у исто време предмер, предрачун, финансијске трошкове, енергетску ефикасност, статичке моделе и још много других операција које морамо одрадити у склопу тог пројекта. Уштеда времена је очигледна, с обзиром на то да све те пратеће делове пројекта добијамо скоро у готовој форми, и не морамо их радити од нуле.

4.2. Врсте БИМ модела

- 4Д модел
- 5Д модел
- 6Д модел
- 7Д модел

4.3. „БИМ“ у економији и законодавству

Предности које се остварују коришћењем БИМ методологије приликом пројектовања и грађења су већ поменуте. Инвеститори и извођачи имају проблем мале зараде у односу на велики ризик, тако да коришћење БИМ софтвера елиминише тај проблем у великој мери. Са аспекта економије и финансија, једна од битних ставки је та што је омогућено боље праћење тока новца, смањен је ризик од додатних трошкова кроз елиминацију непланираних радова, и омогућен је бољи увид у евентуалне уштеде током извођења објекта. Имплементација БИМ-а је јако профитабилна зато што инвеститору штеди и време и новац. До 15% финансија на једном пројекту се може уштедети успешном имплементацијом БИМ методологије, тако да на неким великим пројектима ти износи уштеде могу бити и више десетина милиона, што никако није занемарљив податак. Осим уштеде, и остале ставке везане за ток пројекта су јасније, простије, и доступне кроз пар кликова, што додатно мотивише његово увођење [7].

4.4. Предности и мане употребе „БИМ“ групе софтвера

Предности

- Боља координација свих пројектних грана и пројектних докумената
- Већа контрола над изградом пројекта
- Убрзан процес пројектовања и изградње
- Омогућава боље планирање и праћење трошкова
- Једноставно вршење исправки
- Боља визуелизација објекта
- Боља контрола грешака
- Омогућавање праћења објекта и у фази експлоатације

Мане

- Потребно значајно почетно улагање
- Обука особља

4.5. Популарни „БИМ“ софтвери

- Revit
- ArchiCAD

4.6. Андроид и ИОС апликације

Убрзан начин живота је за последицу произвео то да чак и преносиви рачунари постају гломазни, иако су сведени на димензије свеске А4 формата. Тражи се још мање, још брже и једноставније. Таблети постају све присутнији, уз наравно обавезне мобилне телефоне. Самим тим се и софтвери и апликације прилагођавају карактеристикама и спецификацијама тих уређаја, што у последње време доводи до велике експанзије у изради Андроид или ИОС апликација. Најразличитији софтвери су доступни у само пар кликова и смештени у џеп корисника.

4.7. Примена дрона у градитељству

Развој пројектовања и изградње објеката је умногоме напредовао повезивањем камера за софтвере, и на тај начин отворио прегршт нових опција које су пре биле незамисливе. Грађевинарство представља једну од првих индустрија која је почела широку примену дрона који су опремљени камером. Дронови се могу користити за израду реалних 3Д модела, за снимање топографије терена, геодетска мерења, праћење изградње објекта, инспекције изведених радова итд.

4.8. Закључак

Напредак остварен увођењем нове методологије („БИМ“ наспрам „CAD“) је евидентан, поготово у погледу брзине и модернизације пројекта. Презентација пројекта инвеститору добија сасвим нову димензију, имајући у виду унапређену визуелизацију будућих објеката. Асортиман алата који се користи је благо проширен с обзиром да осим рачунарских делова у израду пројекта и извођење радова уводимо и камере. На овај начин визуелизација самих објеката, и у време пројектовања и извођења објекта у потпуности одговара стварном стању на терену.

5. ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ГРАДИТЕЉСТВУ - ЧЕТВРТА ЕПОХА

Четврта епоха развоја градитељства и унапређења пројектовања, представља увођење вештачке интелигенције (artificial intelligence – AI). Грана науке која се бави развојем софтвера који омогућавају рачунарима да симулирају људску интелигенцију се назива вештачка интелигенција (у даљем тексту в.и.). То је појам који се односи на интелигенцију коју могу поседовати машине. Стварање ове интелигенције се врши програмирањем компјутера да опонаша људске одлуке и потезе .

5.1. Примена вештачке интелигенције у пројектовању

У овом делу градитељства ће се вештачка интелигенција највероватније брже имплементирати, пошто је већина инжењера који се баве пројектовањем већ навикнута на примену разних

софтвера који штеде време и убрзавају процес пројектовања. Она може играти кључну улогу у креирању одрживијих решења, оптимизацији потрошње енергије у објектима, и осталим структурама где може доћи до унапређења рада, услед анализирања грешака насталих у раније пројектованим објектима [8].

5.2. Примена у фази пројектовања објекта

Постоји читава палета софтвера који раде на принципу примене в.и. и чији се рад заснива на проналажењу оптималних решења. Софтвер се обogaђује описима и потребама које будући објекат желимо да има, почевши од локације, преко димензија, спратности, и још много других параметара који су пројектанту битни за функционисање и квалитетан живот људи у том објекту. Практично архитектонски део пројектовања постаје веома олакшан, и сваки даном ће се све више и више олакшавати.

5.3. Примена у анализи конструкције

Новитет, који се уводи новом алатком коју представља вештачка интелигенција у овај део пројектовања, је тај што се сада тестирање неколико различитих статичких модела може истовремено обавити у веома кратком временском интервалу, анализирајући велике количине података. Ово даје могућност проналажења најбољег решења без превеликог губитка времена.

5.4. Иновативне грађевине

Параметарско моделовање објеката, где се форме и структуре објекта креирају на основу параметара којима је могуће играти се, и на тај начин обликовати неправилне основе и форме објекта, нису биле могуће применом традиционалних метода. Открићем вештачке интелигенције ћемо практично добити широм отворене руке за пројектовање објеката неправилних облика и атрактивних изгледа, где ћемо лакше долазити до анализе њихових конструктивних система, а то је оно што је представљало једну од препрека у досадашњој пракси. База таквих објеката којом тренутно располаже в.и. није превише велика, али ће сваки следећи пројектом бити све богатија, што ће олакшавати пројектовање сваког будућег објекта.

5.5. Архитектура и вештачка интелигенција

Много већи утицај примена вештачке интелигенције може имати на подручје архитектуре него на грађевинарство. Пројектовање ентеријера, или израда рендера применом вештачке интелигенције, постају алатка са којом се обичан човек може играти. На дневном нивоу се осмишљавају и унапређују софтвери који, у пар кликова, ваш објекат стилизују према вашим жељама. Софтвер, на основу описа жељеног изгледа, из базе података вади примере који му служе за стварање модела који затим имплементира на фотографију ентеријера или екстеријера вашег објекта [9].

5.7. Примена вештачке интелигенције у извођењу грађевинских радова

Осим у пројектовању, вештачка интелигенција се врло успешно може користити и у сфери извођења грађевинских и архитектонских радова. Примена ове алатке је довела до све веће употребе камера на градилишту, било да је то камера мобилног телефона, таблета или статична камера инсталирана на градилишту.

5.8. Процена ризика и управљање пројектом

Вештачка интелигенција има способност препознавања критичних тачака на изградњи објекта и омогућава фокусирање на њих и упозоравање у случају потенцијалних грешака на које се наилази приликом премошћавања тих критичних тачака [10].

5.9. Контрола трошкова

Предност вештачке интелигенције је што може предвидети прекорачење трошкова анализирајући историју пројектовања сличних објеката и упоредити их са актуелним.

5.10. Безбедност на раду

Вештачка интелигенција се користи да би се проценили услови на локацији и идентификовала потенцијално опасна места на градилишту. Коришћењем камера повезаних са вештачком интелигенцијом може се пратити да ли радници на градилишту носе заштитну опрему, да ли рукују машинама на прописан начин и осталим проблемима на које можемо наићи на градилишту.

5.11. Предиктивно одржавање

Сензори уграђени у инсталације и критичне структуре објекта, у континуитету прате понашање објекта и свих његових елемената и инсталација. Прикупљају се информације везане за стање, проток, и остале ставке битне за нормално функционисање објекта.

5.12. Предности употребе вештачке интелигенције

Предности

- Комплексни пројекти применом вештачке интелигенције постају сигурнији, ефикаснији и профитабилнији.
- Штеди време код рутинских и репетитивних радњи, дајући тиме више времена и простора за битне ствари, што самим тим утиче на квалитет пројекта и његову реализацију.
- Омогућава оптимизацију потрошње енергије у објекту, на тај начин штедећи средства и чувајући животну средину.

5.13. Мане употребе вештачке интелигенције

Као и сваки развој технологије, тако и ова алатка доводи до смањења потребе за људском снагом, и губитка радних места.

5.14. Проширена стварност – Augmented Reality (AR)

Проширена или допуњена стварност, представља једну од основних алатки вештачке интелигенције. Представља интерактивно искуство које суперпонирањем виртуелних модела у стварни свет побољшава реалност. Технологија се заснива на додавању фигура, елемената, или објеката на постојеће кадрове фотографија или снимака из стварности. Помоћу сензора, камера и ЦПС сигнала за праћење кретања и снимање локације, софтвер генерише податке о локацији и објектима на њој, и приказује на паметним телефонима или таблетима дигитални садржај постављен на датој локацији у реалном времену.

5.15. Закључак

Грађевинарство и архитектура представљају области које тек почињу да схватају пуни потенцијал вештачке интелигенције. Анализирање података, предвиђање деловања, комбиновање различитих материјала, или праћење стања конструкције, су поља на којима се очекује значајан напредак, којим ће се сфера градитељства још више убрзати.

6. ЗАКЉУЧАК

Закључак је да се тренутно преплићу више различитих епоха, то јест методологија пројектовања, и да свака од њих има своје кориснике. Успех, кредибилитет и зарада корисника зависи од брзине, квалитета и тачности пројеката које израђују.

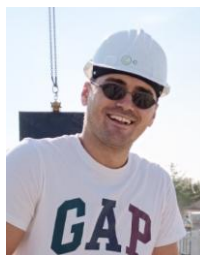
5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] „rarehistoricalphotos,“ [На мрежи]. Available: <https://rarehistoricalphotos.com/life-before-autocad-1950-1980/>.
- [2] „vmeglobal,“ [На мрежи]. Available: <https://www.wmeglobal.com/how-people-worked-before-autocad/>.
- [3] A. Beck, „partsolutions,“ [На мрежи]. Available: <https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957/>.
- [4] „scan2cad,“ [На мрежи]. Available: <https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/>.
- [5] S. Oanes, „goengineer,“ [На мрежи]. Available: <https://www.goengineer.com/blog/history-of-solidworks>.
- [6] „dibs42,“ [На мрежи]. Available: <https://dibs42.com/2022/01/03/simplifying-bim-how-does-bim-work/>.
- [7] „geoinova,“ [На мрежи]. Available: <https://www.geoinova.com/autodesk/kako-bim-povecava-efikasnost-inzenjerstva/>.
- [8] E. S. R. Center. [На мрежи]. Available: <https://emiratesscholar.medium.com/the-role-of-artificial-intelligence-in-modern-civil-engineering-80fdb5eaf7df>.

[9] Autodesk, „teamcad,“ [На мрежи]. Available: <https://www.teamcad.rs/index.php/srb/vesti/1/895-7-primer-a-vestacke-inteligencije-u-arhitektonskim-projektima>.

[10] „gradjevinarstvo,“ [На мрежи]. Available: <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/11095/820/ve-stacka-inteligencija-u-gradjevinarstvu-izmedju-potencijala-i-opreza>.

Кратка биографија:



Владимир Тошић рођен је у Приштини 23.4.1992. године. Од 2022. год ради као асистент надзора у фирми „Ежис“ на пројекту модернизације брзе пруге Нови Сад – Будимпешта

контакт: vladatosicns@live.com



Игор Пешко рођен је 30.6.1981. године у Бачкој Паланци. Звање доктора наука је стекао 2013. године. Редовни је професор на ФТН у Новом Саду.

**ГЕОТЕХНИЧКИ АСПЕКТИ ПРОЈЕКТОВАЊА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ
ПОЛЕТНО-СЛЕТНЕ СТАЗЕ СПОРТСКОГ АЕРОДРОМА ВЕЛИКИ РАДИНЦИ****GEOTECHNICAL ASPECTS OF PAVEMENT DESIGN FOR THE RUNWAY OF THE
VELIKI RADINCI SPORTS AIRPORT**

Сара Крсмановић, Факултет техничких наука, Нови Сад.

Област: Грађевинарство

Кратак садржај – У овом раду приказане су детаљне информације о тлу на ком је предвиђена реконструкција спортског аеродрома Велики Радинци. На основу спроведених истраживачких радова, који су обухватили узорковање тла, лабораторијске анализе и теренско испитивање, дефинисане су кључне физичко-механичке карактеристике тла, укључујући носивост, кохезију, гранулометријски састав и водопропусност, израђен је геотехнички елаборат који је послужио као основа за димензионисање коловозне конструкције.

Кључне речи: Геотехника, геотехнички елаборат, лабораторијска анализа, теренско испитивање, коловозна конструкција.

Abstract – This paper presents detailed information about the soil at the site designated for the reconstruction of the sports airport in Veliki Radinci. Based on the conducted investigative works, which included soil sampling, laboratory analyses, and field testing, the key physical and mechanical properties of the soil were defined, including bearing capacity, cohesion, granulometric composition, and permeability. A geotechnical study was developed, which served as the basis for designing the pavement structure.

Keywords: Geotechnics, geotechnical report, laboratory analysis, field testing, pavement structure.

1. УВОД

Аеродроми су инфраструктурни објекти намијењени полијетању, слијетању и паркирању авиона. Можемо рећи да су аеродроми површине на копну или води, које обухватају зграде, инсталације и опрему намјењену за кретање авиона. Аеродроми су кључни елементи глобалне инфраструктуре за зрачни саобраћај, поред тога што омогућавају путовање такође, значајни су фактори у трговини између различитих дијелова свијета. Они не само да служе кретању авиона, њиховом слијетању и полијетању, они су важна чворишта која повезују градове и земље. Осим тога, представљају економска средишта која подстичу развој туризма.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др. Милош Шешлија, ванр. проф.

Маневарске површине су од велике важности за функционисање аеродрома, оне омогућавају сигурно и ефикасно управљање авионима између писте и других дијелова аеродрома. Њихово планирање и дизајн захтјева развој детаљних планова и спецификација, као и тестирање и контролу квалитета како би се осигурало да маневарске површине задовољавају све безбједносне стандарде.

2. ГЕОТЕХНИЧКИ ИСТРАЖНИ РАДОВИ

Геотехнички истражни радови су процеси испитивања тла и стјенских формација како би се добиле информације о њиховим физичким и механичким карактеристикама. Ове информације су кључне за пројектовање грађевинских објеката, мостова, путева, тунела, насипа, заштита од клизишта и поплава као и аеродромских писта које морају да понесу са собом велика саобраћајна оптерећења. Како би добили поуздане информације о тлу као што су дебљина, дубина слојева и њихово простирање, као и податке о нивоу подземних вода, неопходно је извршити различите истражне радове. На основу добијених података можемо донијети рационалне мјере и рјешења за изградњу објеката.

Планирање истражних радова је кључна фаза у развоју сваког грађевинског или инфраструктурног пројекта. Овај процес укључује детаљну припрему и координацију различитих активности како би се осигурало да су сви аспекти терена, животне средине и техничких захтјева узети у обзир. Сваком теренском истраживању треба приступити систематски, како би се са минималним утрошком финансијских средстава добили сви потребни подаци о истраженој околини. Цијели процес истраживања обухвата пажљиво планиран програм теренских радова, узимање узорака и испитивање истих. Прије самих теренских радова, потребно је извршити излазак на терен, визуелни преглед терена како би прикупили све потребне информације о градилишту. На тај начин можемо увијети о ком типу терена је ријеч, да ли су присутне подземне воде и слично. Ти подаци нам диктирају обим и тип истражних радова који ће нам бити потребни за даље истраживање. За истраживање градилишта великих површина истраживања обављамо по фазама које подразумјевају прелиминарну фазу, главну фазу и допунску или контролну фазу истраживања.

2.1. Методе теренских истраживања

У Србији, као и у другим дијеловима свијета, постоји низ метода које се користе за испитивање земљишта, укључујући бушотине, пенетрацијске тестове и геофизичке методе. Ове технике пружају важне податке о физичким и механичким својствима тла и стијена, што је од пресудне важности за безбједност и дуготрајност грађевинских објеката. Врста и обим радова зависе о теренских услова и од будуће намјене терена. Нека од најчешћих испитивања која се спроводе у Србији су:

- Сондажне јаме
- Сондажни бунари и галерије
- Истражно бушење
 - Бушење лаком ручном гарнитуром
 - Ударно бушење
 - Ротационо бушење
- Узимање узорака
 - Поремећени узорци
 - Непоремећени узорци

2.2. „Ин – ситу“ испитивања

Испитивања ин-ситу су теренска испитивања која се врше директно на мјесту грађевинског пројекта, без вађења узорака за лабораторијске анализе. Ова испитивања пружају информације о стању тла у његовом природном окружењу, укључујући оптерећења и влаге, што је кључно за дизајн и пројектовање грађевинских објеката. Ово су испитивања која пружају реалне резултате јер се мјерења врше у природним условима, без промјене влаге или оптерећења као што се може десити у лабораторијским испитивањима. пројектовање грађевинских објеката. Ово су испитивања која пружају реалне резултате јер се мјерења врше у природним условима, без промјене влаге или оптерећења као што се може десити у лабораторијским испитивањима.

- Стандардни пенетрациони опит
- Пенетрационо испитивање конусом

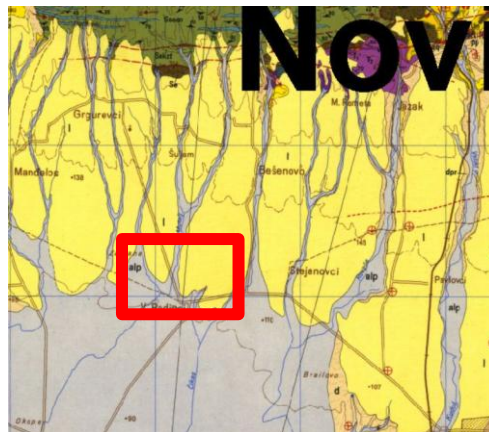
3. ЕЛАБОРАТ О ГЕОТЕХНИЧКИМ ИСТРАЖИВАЊИМА ТЕРЕНА ЗА ПОТРЕБЕ ИЗГРАДЊЕ АЕРОДРОМСКИХ ПОВРШИНА

За потребе мастер рада, изведена су геотехничка истраживања и испитивања, те дефинисани су геотехнички услови за потребе изградње аеродромских површина аеродрома Велики Радинци. За потребе дефинисања геотехничких услова изградње објекта, изведен је одређени обим теренских истраживања и лабораторијских испитивања. Теренске истражне радове, лабораторијска испитивања и геотехничку документацију за потребе дефинисања геотехничких услова изградње извођени су током новембра 2023. – јануара 2024. године.

3.1. Општи подаци о истражном простору

Предмет елабората јесте изградња маневарских површина аеродрома Велики Радинци. Укупна дужина стазе за полијетање и слијетање износи $1230+170=1400\text{m}$. Изведена истраживања обухватају:

- Анализу постојеће документације
- Теренска истраживања
- Лабораторијска испитивања

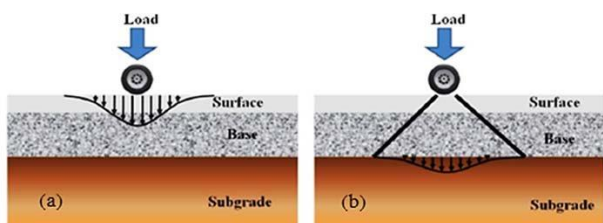


Слика 1. Геолошка карта шире околине истражног подручја [1]

У грађи истражног подручја учествују квартарни седименти. Највеће пространство заузима формација копненог леса уз коју се налазе алувијуми. Алувијум је седимент који је депонован воденим токовима, најчешће уз ријеке и потоке, и обично обухвата различите врсте земљишта као што су пијескови, шљункови и иловаче. Ове седименте доносе ријеке током повишених водостаја или поплава и распоређују их дуж ријечних обала и корита [1].

4. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА НА АЕРОДРОМУ Велики Радинци

Коловозне конструкције аеродрома су кључни елементи инфраструктуре, пројектовани да издрже тешке услове и велика оптерећења која су присутна. Дијелимо их на круте, бетонске коловозне конструкције које се одликују већом носивошћу и дужим вијеком трајања, мање су подложне оштећењима и погодне су за аеродроме са високим степеном саобраћаја. Имамо и флексибилне коловозне конструкције од асфалта. Овај тип коловозне конструкције је јефтинији и бржи за уградњу и погодне су за аеродроме који се налазе у климатским условима гдје су температурне разлике велике. Путне коловозне конструкције су доста сличне аеродромским коловозним конструкцијама, то су вишеслојне конструкције код којих сваки слој прихвата оптерећење са површине и преноси га на слој испод, без прекорачења напона и деформација у слојевима [2].



Слика 2. Флексибилна и крута коловозна конструкција

4.1. Мјеродавно саобраћајно оптерећење

Одређивање прорачунског броја операција годишње, сведено на мјеродавни тип авиона, је важан корак у планирању капацитета и димензионисању аеродрома. Овај процес подразумева израчунавање колико пута један авион или категорија авиона, полети и слети на аеродрому током једне године. Мјеродавни тип авиона, у нашем случају *De Havilland Canada DHC-6 Twin Otter*, је обично типичан авион који представља већину саобраћаја на аеродрому и на основу којег се аеродромске писте, рулне стате и инфраструктура димензионишу. Укупан број операција полијетања мјеродавног авиона за пројектовани период износи $N=11\ 917$. Ово је вриједност са којом димензионишемо коловозних конструкција маневарских површина [2].

5. ЗАКЉУЧАК

Изградња аеродрома Велики Радинци имала би значајан утицај на општину Сремска Митровица, како са економског, тако и са стратешког значаја. Међу значајнијим параметрима на које би утицала изградња спортског аеродрома јесте:

- Економски развој и инвестиције - Аеродром би подстакао локални економски развој привлачањем нових инвестиција у различите секторе, као што су туризам, транспорт и логистика. Овом параметру знатно би помогла локација аеродрома, која је непосредно уз Сремску Митровицу. Сремска Митровица је општина пуна потенцијала за развој туризма и популаризације природних локалитета. Са својом околином и близином Националног парка Фрушке Горе богате шумама и пропланцима, идеално је мјесто за одмор и разоноду, како локалног тако и страног становништва.
- Побољшање инфраструктуре и регионална повезаност - Изградњом аеродрома довела би до унапређења саобраћајне инфраструктуре, укључујући путну мрежу и друге неопходне објекте.
- Туризам и угоститељство - Аеродром би омогућио лакши приступ туристима који долазе у Сремску Митровицу и околину, што би подстакло развој туризма.
- Повећање конкурентности пољопривреде - Обзиром на пољопривредни значај региона,

аеродром би могао да омогући бржи транспорт пољопривредних производа до домаћих међународних тржишта.

- Јачање стратешке позиције - Изградња аеродрома позиционирала би Сремску Митровицу као стратешку тачку за ваздушни саобраћај у западној Србији.
- Дугорочни развој и одрживост

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] ОФК лист Нови Сад Л 31-100

[2] Ђорђе Узелац, „Коловозне конструкције“ (Факултет техничких наука, 2015, Нови Сад – Едиција „Техничке науке – уџбеници“ – број едиције 507)

Кратка биографија:



Сара Крсмановић рођена је 1999. године у Зворнику, Република Српска. Дипломски рад на смјеру грађевинарство, одбранила 2023. године када уписује мастер студије на студијском програму грађевинарство за смјер путеви, железнице и аеродроми.

ПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ ЧЕЛИЧНИХ РАМОВА ПРИМЕНОМ СОФТВЕРА ABAQUS

PARAMETRIC STABILITY ANALYSIS OF STEEL FRAMES USING ABAQUS SOFTWARE

Јована Никачев, Ђорђе Јовановић, Тања Перчић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област - ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај - Фокус рада је на параметарској анализи стабилности Г и просторног рама са унетом почетном геометријском имперфекцијом. Истражује се утицај различитих типова угаоног укрућења (кутијастог, дијагоналног и комбинованог) и нумеричких фактора (тип елемента мреже и величина мреже у Абакусу) на стабилност ових конструкција, са циљем оптимизације њиховог дизајна.

Кључне речи: Стабилност, имперфекције, челичне конструкције, Абакус

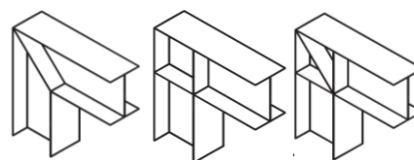
Abstract - The focus of this work is the parametric analysis of the stability of G and spatial frames with an introduced initial geometric imperfection. It investigates the influence of different types of angle stiffeners (box, diagonal, and combined) and numerical factors (mesh element type and mesh size in Abaqus) on the stability of these structures, with the aim of optimizing their design.

Keywords: Stability, imperfections, steel structures, Abaqus

1. УВОД

Параметарска анализа стабилности Г и просторних рамова са унетом почетном геометријском имперфекцијом, представља битан корак у обезбеђивању поузданости ових конструкција. Због специфичне геометрије, рамови могу бити осетљиви на губитак стабилности под оптерећењем, а угаона укрућења се користе за побољшање њихове носивости и отпорности на извијање. Овај рад има за циљ да истражи утицај различитих типова угаоног укрућења (слика 1) (кутијастог, дијагоналног и комбинованог) на стабилност рамова. Поред конструктивних аспеката, анализа узима у обзир и нумеричке факторе, варирајући тип елемента мреже и њену величину у оквиру МКЕ симулација у Абакусу. Увођење почетне геометријске имперфекције, дефинисане преко комбиновања тонова извијања, омогућава реалистичнију процену понашања конструкције. Кроз

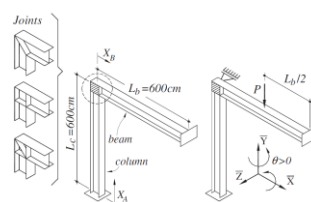
ову параметарску студију, настоји се да се квантификује утицај типа укрућења и карактеристика мреже на стабилност рамова, пружајући основу за оптимизацију њиховог дизајна. Верификација резултата је извршена поређењем предметних модела са линијским моделом из софтвера Matrix 3D.



Слика 1. Врсте угаоног укрућења [2]

2. ГЕОМЕТРИЈА, МАТЕРИЈАЛИЗАЦИЈА И МКЕ МОДЕЛ РАМОВА

Анализирани су челични Г рамови од I профила димензија 200x200x5мм, направљени од челика S235 са модулом еластичности $E=210\text{GPa}$, са укљештеним крајевима и бочно придржаним спојем греде и стуба. Рамови су изложени комбинованом оптерећењу: вертикалној концентрисаној сили од 40kN и хоризонталној сили од 5kN, обе нанете у тежишту попречног пресека на средини распона греде.



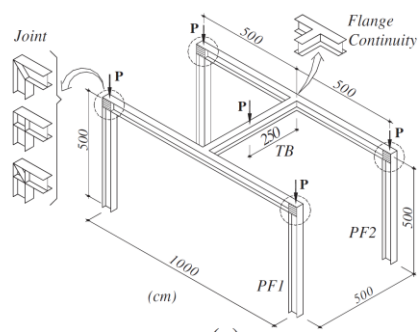
Слика 2. Геометрија Г рама [2]

Предмет анализе био је и просторни рам састављен од два паралелна П рама, међусобно размакнута 5m. Сваки П рам је имао стубове висине 5m и греде дужине 10m, са попречним пресеком од завареног И профила 300x150x8мм од челика S235 са модулом еластичности $E=210\text{GPa}$. Два П рама су била повезана спојном гредом дужине 5m са истим попречним пресеком. Угаона укрућења су постављена на спојевима греда и стубова П рамова. Просторни рам је био оптерећен концентрисаним вертикалним силама на средини спојне греде и на спојевима греда и стубова П рамова. Ослонци су били укљештени на крајевима стубова П рамова, непокретни у Z и Y правцу на спојевима греда

НАПОМЕНА:

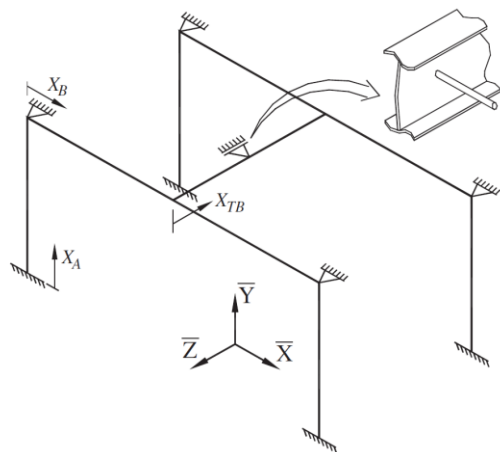
Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Ђорђе Јовановић, доцент.

и стубова П рамова, и покретни у Х правцу на средини спојне греде.



Слика 3. Геометрија просторног рама [2]

Предмет анализе био је и просторни рам састављен од два паралелна П рама, међусобно размакнута 5m. Сваки П рам је имао стубове висине 5m и греде дужине 10m, са попречним пресеком од завареног И профила 300x150x8mm од челика S235 са модулом еластичности $E=210\text{GPa}$. Два П рама су била повезана спојном гредом дужине 5m са istim попречним пресеком. Угаона укрућења су постављена на спојевима греда и стубова П рамова. Просторни рам је био оптерећен концентрисаним вертикалним силама на средини спојне греде и на спојевима греда и стубова П рамова. Ослонци су били уклештени на крајевима стубова П рамова, непокретни у Z и Y правцу на спојевима греда и стубова П рамова, и покретни у X правцу на средини спојне греде.



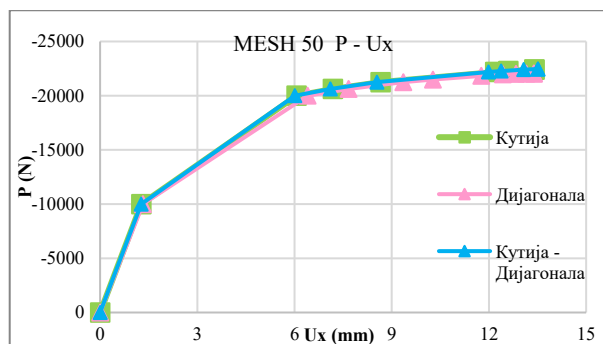
Слика 4. Геометрија просторног рама - ослонци [2]

3. РЕЗУЛТАТИ

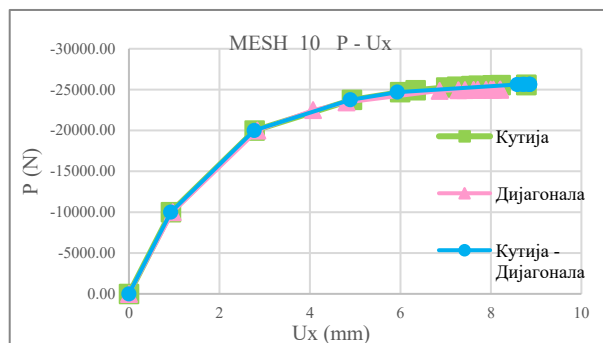
3.1. Резултати г рама

ПОРЕЂЕЊЕ КРИТИЧНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА

Анализа критичног оптерећења са елементом величине 50mm и типом мреже S4R (слика 5) показује да исто понашање за сва три типа укрућења. Критично оптерећење које је довело до губитка стабилности конструкције је 22,408kN за кутијасто укрућење, 22,039kN за дијагонално, док је критично оптерећење за комбиновано кутијасто-дијагонално укрућење 22,457kN.

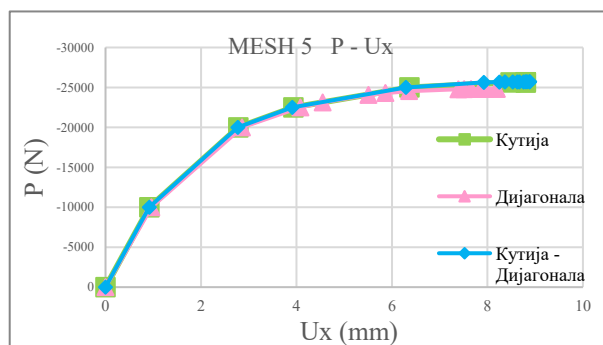


Слика 5. Дијаграм критична сила-бочно померање ($P-U_x$), елемент мреже S4R, величина мреже 50mm



Слика 6. Дијаграм критична сила-бочно померање ($P-U_x$), елемент мреже S4R, величина мреже 10mm

Критично оптерећење које је довело до губитка стабилности (слика 6) конструкције је 25,578kN за кутијасто укрућење, 25,005kN за дијагонално, док је критично оптерећење за комбиновано кутијасто-дијагонално укрућење 25,630kN.



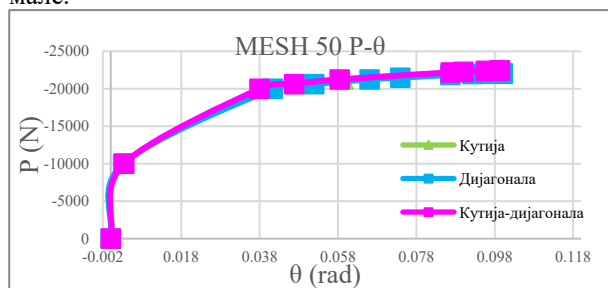
Слика 7. Дијаграм критична сила-бочно померање ($P-U_x$), елемент мреже S4R, величина мреже 5mm

Анализа критичног оптерећења са елементом величине 5mm и типом мреже S4R (слика 7) показује да тип укрућења рама има утицаја на резултате критичног оптерећења. Критично оптерећење које је довело до губитка стабилности конструкције је 25,635kN за кутијасто укрућење, 24,8kN за дијагонално, док је критично оптерећење за комбиновано кутијасто-дијагонално укрућење 25,7kN. Комбиновано кутијасто-дијагонално укрућење је дало највишу силу лома од што је незнатно повећање од око 0.2% у односу на само кутијасто укрућење и за око 3.5% више у односу на само дијагонално укрућење. Ови резултати указују да комбиновано укрућење пружа највећу отпорност на лом у овом случају, док дијагонално

укрућење самостално показује нешто слабије перформансе. Међутим, разлике између кутијастог и комбинованог укрућења су релативно мале.

Анализа резултата торзионе ротације у зависности од типа укрућења.

Анализа торзионе ротације за елемент мреже S4R показује утицај типа угаоног укрућења и величине мреже на стабилност. За најгрубљу мрежу од 50мм (слика 8), највеће ротације су забележене, при чему дијагонално укрућење показује нешто већу ротацију (0,1000rad) у односу на кутијасто (0,0985rad) и комбиновано (0,09930rad). Смањењем величине мреже на 10мм, торзионе ротације се значајно смањују и постају сличније. Грубља мрежа од 50мм може преценити торзиону ротацију. За финије мреже, дијагонално укрућење конзистентно показује нешто мању торзиону ротацију, док комбиновано укрућење генерално даје нешто веће ротације, иако су разлике мале.



Слика 8. Дијаграм сила-торзиона ротација (P-θ) Г рама различитим укрућењем

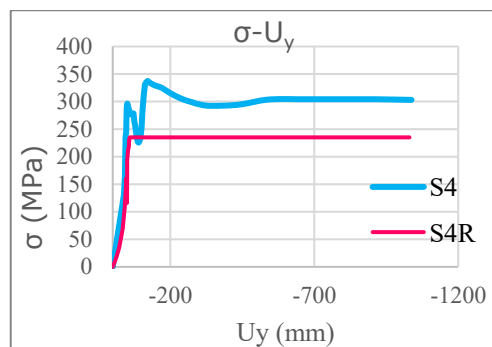
Табела 1: Вредности торзионе ротације за различита укрућења, променом величине коначног елемента

Укрућење	θ (rad) mesh 50	θ (rad) mesh 10	θ (rad) mesh 5
Кутијасто	0,09851	0,06521	0,06551
Дијагонално	0,1000	0,06056	0,06005
Кутијасто-дијагонално	0,09930	0,06583	0,06614

3.2. РЕЗУЛТАТИ ПРОСТОРНОГ РАМА

Резултати напона у зависности од типа елемента мреже

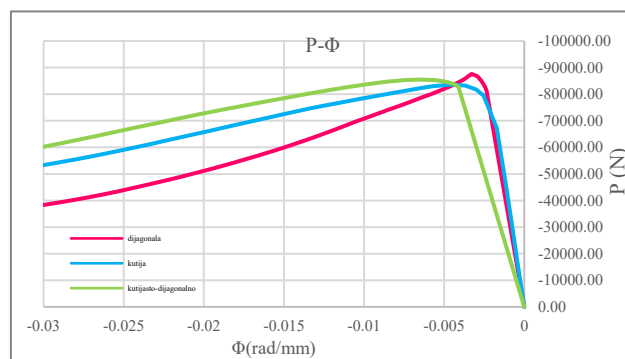
Нелинеарна анализа стабилности просторног рама са почетним имперфекцијама указује на значајан утицај типа елемента мреже. Употреба S4 је довела до смичућег закључавања и нереалних напона, па је прелазак на S4R био неопходан (слика 9).



Слика 9. Поређење напона у просторном раму применом S4 и S4R

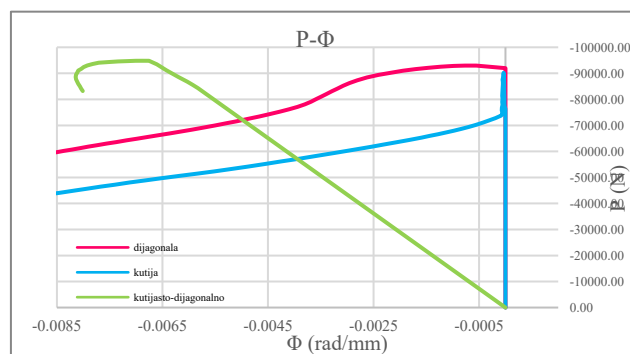
Утицај унетих имперфекција, дефинисаних фактором скалирања као $L/150=33.333$ другог тона извијања, је кључан. Оне смањују критичну силу лома и утичу на путању деформација. Сваки тип рама реагује специфично.

Резултати конфигурације споја на депланацију рама



Слика 10. Дијаграми сила-депланација (P-Φ), величина мреже 50мм

Анализа резултата (слика 10) показује да у овом конкретном случају (просторни рама са имперфекцијама, 50мм мрежа), дијагонално укрућење најбоље балансира постигнуту носивост и контролу деформације увијања при губитку стабилности, док кутијасто укрућење показује најнижу носивост уз највећу деформацију увијања.



Слика 11. Дијаграми сила-депланација (P-Φ), величина мреже 15мм

Анализом резултата депланације (слика 11) попречног пресека да у овом случају (мрежа величине 25мм), комбиновано укрућење обезбеђује најбољи однос између носивости и контроле деформације увијања, а дијагонално је на другом месту.

У целини, резултати показују да тип укрућења утиче на стабилност рама. Комбиновано кутијасто-дијагонално укрућење обезбеђује највишу носивост код најфиније мреже, истовремено пружајући добру контролу деформација увијања и торзионе ротације. Иако кутијасто укрућење може бити веома ефикасно у ограничавању деформације увијања, оно константно показује најнижу носивост. Дијагонално укрућење постиже добру носивост код грубљих мрежа, али уз значајније деформације.

4. ЗАКЉУЧАК

У целини, анализа јасно показује да је пројектовање укрућења и одабир њиховог типа од пресудног значаја за стабилност витких челичних конструкција. Кључно је спроводити реалније нелинеарне анализе које укључују утицај геометријских несавршености, јер оне значајно смањују носивост у односу на идеалне моделе. При избору типа укрућења, комбиновано кутијасто-дијагонално и кутијасто укрућење су генерално најефикаснији у повећању носивости и контроли деформација у поређењу са дијагоналним укрућењем самостално. Коначно, поузданост нумеричких резултата добијених методом коначних елемената директно зависи од пажљивог одабира типа и финоће елемената мреже, што захтева спровођење анализа осетљивости ради обезбеђивања тачне процене стабилности и понашања конструкције. Узимајући у обзир налазе из анализе оба рама, како без имперфекција, тако и са уведеним имперфекцијама, комбиновано кутијасто-дијагонално укрућење се генерално показало као најефикаснији тип укрућења за обезбеђивање високе носивости и добре контроле деформација код испитиваних челичних рамова.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 1993-1-1:2005: Eurocode 3. Design of Steel Structures: General rules and rules for buildings.
- [2] C. Basaglia, D. Camotim *, N. Silvestre: Torsion warping transmission at thin-walled frame joints: Kinematics, modelling and structural response.
- [3] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. Vol. 1. The finite element method. The Basis
- [4] Miodrag Sekulović: „Metod konačnih elemenata“ Građevinska knjiga, 1988
- [5] Shabnam Shayan *, Kim J.R. Rasmussen, Hao Zhang: „On the modelling of initial geometric imperfections of steel frames in advanced analysis”

Кратка биографија:



Јована Никачев рођена је у Новом Саду 2000. године. Дипломирала је на Факултету техничких наука 2023. године. Од 2024. године је у звању сарадника у настави на катедри за техничку механику.



Ђорђе Јовановић рођен је у Новом Саду 1988. године. Докторат је одбранио на Факултету техничких наука 2020. године. Од 2020. године је у звању доцента на катедри за конструкције.



Тања Перчић рођена је у Новом Саду 1996. године. Мастер рад је одбранила је на Факултету техничких наука 2021. године. Од 2021. године је у звању асистента на катедри за конструкције.

PRIMENA INTELIGENTNIH PAKOVANJA U LOGISTICI**APPLICATION OF INTELLIGENT PACKAGING IN LOGISTICS**Teodora Tomić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT/LOGISTIKA**

Kratak sadržaj – Ubrzani razvoj savremenih tehnologija u oblasti logistike poboljšava nivo efikasnosti i povećava nivo kvaliteta usluge čitavog lanca snabdevanja na globalnom tržištu logističkih usluga. Osnovne funkcije pakovanja, kao logističkog podsistema su: zaštitna funkcija, distributivna funkcija, funkcija informisanja i marketinga. Osim konvencionalnog pakovanja, sve više u upotrebi je i pametno pakovanje koje omogućava praćenje proizvoda tokom njegovog životnog veka, analizira i kontroliše okruženje unutar ili izvan pakovanja da bi obavestio svoje proizvođače, prodavce ili potrošače o stanju proizvoda u svakom trenutku. U ovom radu, težište je na informacionim i komunikacionim tehnologijama koje omogućavaju da se uobičajeno pakovanje proizvoda transformiše u pametno pakovanje

Glavne reči: Pakovanje proizvoda, inteligentna pakovanja, pametne paletne jedinice, pametni kontejneri.

Abstract – The accelerated development of modern technologies in logistics improves the level of efficiency and increases the level of service quality of the entire supply chain in the global logistics market. The basic functions of packaging, as a logistics subsystem, are: protective function, distribution function, information and marketing function. In addition to conventional packaging, smart packaging is increasingly being used to monitor the product during its lifetime, analyze and control the environment inside or outside the packaging to inform its producers, sellers or consumers about the state of the product at all times. The focus of this study is on information and communication technologies that enable the transformation of ordinary product packaging into smart packaging.

Keywords: Product packaging, intelligent packaging, smart pallet units, smart containers.

1. UVOD

Robni tokovi predstavljaju generatore zahteva za transportom, skladištenjem, pretovaranjem, komisioniranjem i drugim logističkim aktivnostima i procesima i na putu od pošiljaoca do primaoca prolaze kroz niz različitih transformacija koje često značajno menjaju njihove karakteristike. Okosnicu realizacije robnih tokova, u tehnološkom smislu, čine transportni, pretovarni i skladišni procesi, pri čemu su pakovanje, označavanje,

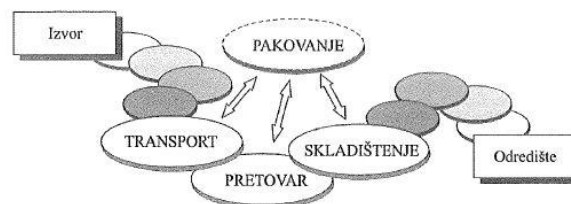
komisioniranje i druge aktivnosti takođe neodvojivi deo procesa funkcionisanja logističkih sistema [1]. Važno mesto u realizaciji robnih tokova imaju logistički centri, kao mesta koncentracije robnog rada, koja, između ostalog, doprinose racionalizaciji i ubrzanju protoka robe.

Savremeno tržište karakterišu globalni lanci snabdevanja koji tranzitiraju preko nacionalnih, regionalnih i međunarodnih prostora, čime raste značaj logističkih centara i funkcija koje realizuju. Osim toga, zainteresovane strane u lancu snabdevanja pridaju sve veći značaj potrebi za poboljšanom vidljivošću kako bi identifikovali ulazni tok robe, kako bi se zadovoljili veći zahtevi i kako bi mogli da reaguju na neočekivano. Pametni uređaji omogućavaju ostvarivanje potencijala da se obezbede tačni podaci u realnom vremenu, jer su trajno pričvršćeni za transportnu opremu, obezbeđuju pokrivenost za celo putovanje i nisu ograničeni na dolazak do fizičkih lokacija radi izveštavanja o događajima [3].

Predmet ovog rada je primena inteligentnih pakovanja u logistici. Težište rada jeste opis i analiza implemetacije virtuelnih tehnologija u pojedinačne jedinice pakovanja.

2. PAKOVANJE I UKRUPNJAVANJE PROIZVODA**2.1. Funkcije pakovanja proizvoda**

Materijalna dobra, koja su osnov svih robnih tokova, svojim oblikom i dimenzijama utiču na izbor i racionalnost korišćenja skladišne, pretovarne i transportne opreme. Usled toga, kao logistički podsistem, pakovanje proizvoda je preduslov za transport, pretovar i skladištenje velikog broja proizvoda. Međupovezanost podsistema pakovanja i ostalih logističkih podsistema prikazana je na slici 1.



Slika 1. Međupovezanost pakovanja i ostalih logističkih podsistema [5]

Osnovne funkcije pakovanje kao logističkog podsistema su: zaštitna funkcija; distributivna funkcija; funkcija informisanja; funkcija marketinga [2]. Pakovanje u logistici ima višestruke funkcije ključne za uspešno upravljanje tokovima proizvoda i informacija, kao i za

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Svetlana Nikoličić, red. prof.

očuvanje kvaliteta proizvoda i efikasnost celokupnog logističkog procesa [4].

Jedinica proizvoda koja se formira prema zahtevima potrošača često nije povoljna za sve aktivnosti koje se s njom odvijaju tokom distributivnog procesa, pa je sa aspekta logistike posebno važno formiranje ukupljenih jedinica tereta (slika 2) koje omogućavaju iskorišćavanje prednosti mehanizovanog manipulisanja robom.



Slika 2. Primer ukupnjavanja jedinica tereta [4]

Značaj navedenih funkcija pakovanja nije isti za sve proizvode, odnosno značaj funkcija pakovanja prvenstveno zavisi od vrste i karakteristika proizvoda, njihove namene, relacije transporta, mesta korišćenja. Međutim, ne umanjujući značaj ostalih funkcija pakovanja, poslednjih tridesetak godina sa razvojem informacionih i komunikacionih tehnologija, funkcija informisanja se višestruko proširila i unapredila.

2.2. Informacione i komunikacione tehnologije povezane sa informacionom funkcijom pakovanja

Savremene informacione i komunikacione tehnologije omogućile su promene u načinu prikupljanja i obrade podataka, prenosa i povezivanja učesnika u lancu snabdevanja. Bazirano na njima, osnovni ciljevi logističkih informacionih sistema su: obezbeđivanje neophodnih informacija o raspoloživosti i vidljivosti proizvoda; omogućavanje formiranja jedinstvene baze podataka; omogućavanje kvalitetnog logističkog odlučivanja; obezbeđivanje saradnje između funkcionalnih celina unutar jednog preduzeća ili između više preduzeća u logističkom lancu.

Tehnologija i inovacije su ključni faktori poslovne konkurentnosti na tržištu, u svim sektorima, uključujući i logistiku. Informacione tehnologije nude digitalne platforme, razmenu velike količine podataka, računarstvo u oblaku, veštačku inteligenciju, pametne telefone. U logistici se primenjuju različite tehnologije kako bi se poboljšala bezbednost i efikasnost logističkih procesa. Krajnji cilj je da se omogući korisnicima bolja informisanost, veća sigurnost, bolja koordinacija i mogućnost „pametnijeg“ korišćenja transportne mreže.

Platforme koje se koriste za prikupljanje i razmenu informacija su: Elektronska razmena podataka (*Electronic data interchange - EDI*); automatske identifikacione tehnologije i internet tehnologije.

Sistem elektronske razmene podataka - *EDI* se može definisati kao razmena strukturiranih podataka na relaciji računar-računar, u cilju njihove automatske obrade.

Osnovna prednost ove tehnologije jeste smanjena mogućnost grešaka usled izostanka ljudskog faktora, kao i brza obrada i prosleđivanje informacija.

Automatske identifikacione tehnologije omogućavaju identifikovanje pojedinačnih predmeta i prikupljanje ili unos podataka o njima bez intervencije ljudi. U logističkim procesima za identifikaciju robe najčešće se primenjuju optičko elektronske metode sa bar kodovima i mikrotalasne metode sa transponderima. U nastavku su pojašnjene njihove osnovne karakteristike [4].

Bar kodovi su elektronski čitljive nalepnice, koje obezbeđuju informacije o poreklu, odredištu, vrsti robe kao i informacije potrebne za obračun. Bar kod kao nosač podataka je najpoznatiji predstavnik optičkih tehnologija za identifikaciju, pre svega u logistici ali i među ostalim privrednim sektorima [5].

Radio frekventna identifikacija, odnosno identifikacija putem radio talasa – *RFID*, zasniva se na korišćenju bežičnih komunikacionih uređaja koji omogućavaju praćenje materijalnih dobara duž čitavog logističkog lanca. U poređenju sa bar kodovima, *RFID* oznake su skuplje i zahtevaju moćniju elektronsku informacionu mrežu. *RFID* nudi i druge prednosti za ceo lanac snabdevanja kao što su: upravljanje zalihama, promocija kvaliteta i bezbednosti i mogućnost prikupljanja podataka u realnom vremenu [5].

Internet tehnologije - aplikacije se uglavnom baziraju na klijent/server modelima računarske arhitekture. Klijent/server arhitektura razvijena je kao višenamenska modularna infrastruktura, zasnovana na slanju i primanju poruka. Osnovna prednost klijent/server modela jeste razdvajanje veoma složenih zadataka računarske obrade podataka do jednostavnih zadataka koji podrazumevaju interakciju sa korisnicima [4].

3. INTELIGENTNA PAKOVANJA POJEDINAČNIH PROIZVODA

Pametno pakovanje predstavlja sistem pakovanja sa tehnologijom ugrađenih senzora, koja se koristi za pakovanje raznih proizvoda. Koristi se za produženje roka trajanja, prati svežinu, prikazuje informacije o kvalitetu i poboljšava bezbednost proizvoda i kupaca. Očekuje se da će globalno tržište pametne ambalaže dostići 26,7 milijardi dolara do 2024. Godine [6].

Tradicionalno pakovanje više nije dovoljno kako bi se pratila konstantno povećana očekivanja korisnika kao i povećanje složenosti proizvoda. Tokom protekle dve decenije, u literaturi su se pojavili i često se koriste pojmovi kao što su aktivno pakovanje, inteligentno pakovanje i pametno pakovanje [5].

Aktivno pakovanje je prva alternativa tradicionalnom pakovanju. Tehnologija aktivnog pakovanja ugrađuje komponente u pakovanje koje mogu apsorbovati supstance u konzervisanu hranu ili okruženje, kako bi se održao kvalitet i produžio rok trajanja.

Inteligentno pakovanje se uglavnom koristi za praćenje stanja upakovane robe, da prikupi i pruži informacije o kvalitetu pakovanja tokom transporta i skladištenja.

Pametno pakovanje obezbeđuje rešenja za pakovanje koje s jedne strane prati promene u proizvodu ili njegovom okruženju (inteligentno) i sa druge strane, deluje na promene (aktivno).

Pametno pakovanje se razlikuje od konvencionalnog po tome što prati i saopštava stanje proizvoda bez potrebe konstantnog praćenja roka trajanja. Njegova primena je veoma pogodna za hranu, lekove i opasnu robu. Ovo pakovanje postaje deo internet inteligentnih uređaja (*Internet of things* - *IoT*) povezivanjem na veb radi deljenja podataka o uslovima proizvoda putem senzora i softvera [5].

Trend ka održivosti, poboljšanoj bezbednosti proizvoda i standardima visokog kvaliteta je važan u svim oblastima. Da bi se zadovoljili ovi zahtevi, inteligentno pakovanje koristi se u prehrambenom sektoru. Ovi sistemi mogu trajno pratiti status kvaliteta proizvoda i podeliti informacije kupcu. Na ovaj način može se smanjiti bacanje hrane i može se optimizovati zadovoljstvo kupca.

3.1. Inteligentna pakovanje pojedinačnih proizvoda u prehrambenoj industriji

Pametno pakovanje poboljšava upravljanje robom, jer je posebno osmišljeno da smanji rasipanje hrane, poboljša bezbednost hrane i obezbedi najviši kvalitet ovih proizvoda. Međutim, uprkos njihovim neospornim prednostima, njihova trenutna cena ih sprečava da postanu široko rasprostranjeno rešenje.

Evropska agencija za bezbednost hrane (*The European Food Safety Authority* - *EFSA*) definiše inteligentne materijale za pakovanje kao „materijale i artikle koji prate stanje upakovane hrane ili okruženja“. Oni imaju sposobnost da saopštavaju uslove upakovanog proizvoda, ali ne stupaju u interakciju sa proizvodom. Njihov cilj je da prate proizvod i prenesu informacije potrošačima. Da bi se inteligentno pakovanje moglo koristiti u komercijalne svrhe, mora biti ispunjen zakonski zahtev. Dugi niz godina nije postojao pravni okvir za inteligentno pakovanje u EU, pa zbog toga sistemi nisu rasprostranjeni kao u SAD, Australiji ili Japanu [5].

Generalno, postoje tri glavne komponente koje se koriste za inteligentne sisteme za pakovanje: nosači podataka, indikatori i senzori. Takođe inteligentni sistemi za pakovanje mogu se podeliti po sledećim tipovima:

- Uslovi životne sredine: ova vrsta prati uslove koji mogu dovesti do promena u karakteristikama kvaliteta hrane. Primeri ovih tipova su indikatori vremenske temperature, gas indikatori curenja i senzori relativne vlažnosti. U zavisnosti od faktora praćenja ovi sistemi se mogu postaviti izvan ili unutar pakovanja.
- Karakteristike kvaliteta: ovaj tip se koristi za direktno praćenje atributa kvaliteta hrane. Primeri su bio senzori i senzori/indikatori svežine. Ovi uređaji se obično nalaze unutar pakovanja.
- Nosači podataka: ovi sistemi se koriste samo za skladištenje i prenos podataka, dok se indikatori i

senzori koriste za praćenje spoljašnjeg okruženja i prikazivanje informacija nakon toga.

Generalno, inteligentno pakovanje je jednostavno za korišćenje i pruža niz prednosti za potrošače, proizvođače hrane i čitavu prehrambenu industriju. Troškovi pakovanja mogu iznositi 50-100% od ukupnih troškova finalnog proizvoda. Pošto je stvarno stanje kvaliteta hrane poznato, prodavac može da prodaje proizvode sa kraćim rokom trajanja prvo i tako se može smanjiti gubitak hrane [5].

Ne može se svako inteligentno pakovanje koristiti za svaku vrstu hrane. Stoga, mora se definisati koji indikator odgovara kojoj namirnici. Trenutno se inteligentna ambalaža uglavnom koristi u prehrambenoj industriji. Ovakva ambalaža bi najveću bezbednost proizvoda donela u farmaceutske i kozmetičke industriji.

3.2. Inteligente paletne jedinice

Ideja integracije virtuelnih tehnologija je novina u oblasti transporta i igra vitalnu ulogu u prevazilaženju problema u globalnom svetu [3]. Nemogućnost kompanija da u svakom trenutku znaju gde se nalazi njihova roba u lancu snabdevanja rezultirala je implementacijom virtuelnih tehnologija najviše u kontejnere a zatim i u palete [6].

Pametne palete pomažu u poboljšanju lanaca snabdevanja, čineći ih održivijim, ekonomičnijim i štedljivijim. Implementacijom „pametnih paleta“ mogući su podaci o položaju i kretanju paleta, njihovoj temperaturi i stanju opterećenja, kao i reakcijama na svaki mogući udar ili pad paleta. Pronalaženje neiskorišćenih paleta je olakšano i omogućena je njihova optimalna upotreba. Troškovi kao rezultat neiskorišćenih, izgubljenih ili ukradenih paleta su smanjeni. Pametne palete se definišu kao nadogradnja postojećeg sistema paleta, gde se uz pomoć odgovarajućeg senzora u realnom vremenu može pratiti lokacija palete, temperaturni režim neposrednog okruženja u kome se paleta nalazi i vibracija tokom manipulacije i transporta palete. [6].

3.3. Inteligentni kontejneri

Upotreba pametnih kontejnera u lancu snabdevanja na mnogo načina pruža prednosti različitim zainteresovanim stranama. Unapređena je sigurnost pošiljke i transportne opreme, a kretanje preko granica između država je olakšano. Pored povećanja produktivnosti, efikasniji transport će dovesti do boljeg korišćenja resursa, olakšavajući prelazak na čistije načine transporta i ekološki prihvatljivije okruženje. Nadzor pametnih kontejnera može da se koristi u brojne svrhe od strane zainteresovanih strana u lancu snabdevanja. Svaki kontejner može postati pametni kontejner. Elektronika pametnog kontejnera može se ugraditi tokom proizvodnje, naknadno ugraditi u sve vrste postojećih kontejnera ili ugraditi u sadržaj kontejnera [3]. Pametni kontejneri mogu da uporede planirano i izvršeno putovanje i generišu upozorenja u realnom vremenu u slučaju bilo kakvog problema i eliminišu nastale troškove dok nadoknađuju nedostatak podataka.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se opiše implementacija virtuelnih tehnologija na pojedinačne proizvode - jedinice pakovanja kako bi se bliže objasnio značaj i funkcija senzora koji se postavljaju na te jedinice. Opisuje se proces kako od jedinice proizvoda nastaje jedinica pakovanja na koju se postavlja senzor koji kasnije omogućava praćenje lokacije, vibracija, udara itd. Ovim procesom se pojednostavljuje čitav lanac snabdevanja koji ga čini efikasnijim i bržim.

Sa porastom potreba korisnika i nametanjem sve većih zahteva u pogledu fleksibilnosti, smanjenja troškova i povećanja produktivnosti poslovanja od strane njihove konkurencije javlja se i potreba za inovativnim logističkim rešenjima.

Pametno pakovanje predstavlja značajne mogućnosti i izazove za proizvođače, potrošače i regulatore. Iako tehnologija nudi niz prednosti kao što su poboljšana bezbednost proizvoda, smanjenje otpada i poboljšano korisničko iskustvo, ona takođe predstavlja izazove kao što su cena i složenost, privatnost, bezbednost i usklađenost sa propisima.

5. LITERATURA

- [1] Nikoličić, S. *Materijal sa predavanja*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2024.
- [2] Perišić R. *Savremene tehnologije transporta I*. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd; 1985.
- [3] Tomić, T. diplomski rad: *Inteligentne tovarno manipulativne jedinice*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2023.
- [4] Nikoličić, S, Stojanović, Đ, Maslarić, M. *Osnovi Logistike: Principi, sistemi i procesi*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2016.
- [5] Schaefera, D, Cheungb, W.M., *Smart Packaging: Opportunities and Challenges*, University of Northumbria, United Kingdom.
- [6] Đurić, N. Diplomski rad: *Primena sistema pametnih paleta u povratnoj logistici*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.

Kratka biografija:



Teodora Tomić - rođena u Novom Sadu 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport – Logistika, sa temom: *Primena inteligentnih pakovanja u logistici* odbranila je 2024.god.
Kontakt: tomic.didi@gmail.com

**PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE ZA UNAPREĐENJE
BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA****THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ENHANCING TRAFFIC
SAFETY***Bojana Savić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – SAOBRAĆAJNO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – Rad se bavi primenom veštačke inteligencije (AI) u bezbednosti saobraćaja, sa posebnim osvrtom na korišćenje alata mašinskog učenja i tehnologija kompjuterskog vida. Analiziraju se ključne metode koje omogućavaju predikciju saobraćajnih nezgoda, identifikaciju rizičnih vozača, detekciju opasnosti u realnom vremenu, kao i automatizovano upravljanje saobraćajem. Poseban akcenat je stavljen na upotrebu senzora i IoT podataka za unapređenje bezbednosti i efikasnosti, kao i doprinos autonomnih vozila smanjenju rizika u saobraćaju.

Ključne reči: veštačka inteligencija, bezbednost saobraćaja, mašinsko učenje, kompjuterski vid, autonomna vozila.

Abstract – The paper focuses on the application of artificial intelligence (AI) in traffic safety, particularly emphasizing the use of machine learning and computer vision technologies. It explores key methods that enable the prediction of traffic accidents, identification of risky drivers, real-time hazard detection, and automated traffic management systems. The work also highlights the role of sensors and IoT data in improving safety and efficiency, as well as the contribution of autonomous vehicles to reducing road traffic risks.

Keywords: Artificial intelligence, traffic safety, machine learning, computer vision, autonomous vehicles.

1. UVOD

Bezbednost saobraćaja je ključni faktor koji utiče na kvalitet života širom sveta, s milionima stradalih i povređenih svake godine u saobraćajnim nezgodama. Razvoj veštačke inteligencije (AI) pruža nove mogućnosti za predviđanje, prevenciju i upravljanje rizicima u saobraćaju. Cilj rada je da istraži primenu AI tehnologija, sa posebnim fokusom na mašinsko učenje i kompjuterski vid, u unapređenju bezbednosti saobraćaja.

2. AI U BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Primena veštačke inteligencije (AI) u bezbednosti saobraćaja značajno unapređuje bezbednost na putevima analizom podataka iz raznih izvora, poput senzora

i kamera, što omogućava prepoznavanje opasnosti u realnom vremenu. Korišćenjem ovih tehnologija moguće je smanjiti broj saobraćajnih nezgoda kroz predikciju rizika i pravovremenu reakciju sistema. Na primer, AI alati mogu identifikovati kritične tačke na putevima i omogućiti nadležnim subjektima da brzo reaguju i unaprede bezbednost na tim lokacijama.

2.1. Predikcija saobraćajnih nezgoda

Predikcija saobraćajnih nezgoda predstavlja jednu od ključnih primena mašinskog učenja (ML) u domenu bezbednosti saobraćaja. Ovi algoritmi analiziraju obimne istorijske podatke, uključujući vremenske uslove, gustinu saobraćaja, tipove vozila, i vremenske intervale tokom kojih se nezgode najčešće događaju. Koristeći modele zasnovane na regresiji, moguće je identifikovati povezanost između ovih faktora i učestalosti nezgoda na određenim lokacijama. Na primer, studije su pokazale da specifični vremenski uslovi kao što su kiša ili magla povećavaju rizik od saobraćajnih nezgoda za više od 20% na prometnim raskrsnicama [1] [2].

Za predikciju saobraćajnih nezgoda koristi se niz modela koji se baziraju na mašinskom učenju, uključujući Random Forest, Support Vector Machine (SVM) i neuronske mreže. Svaki od ovih modela nudi različite pristupe u analizi podataka, prilagođene složenosti i prirodi podataka korišćenih za predikciju, a mogu prilagođeni specifičnim potrebama, u zavisnosti od vrste podataka i ciljeva istraživanja. Uz njihovu pomoć, eksperti bezbednosti saobraćaja mogu identifikovati ključne faktore rizika i razviti efikasnije strategije za smanjenje broja nezgoda na putevima.

2.2. Uloga kompjuterskog vida u detekciji i prevenciji saobraćajnih nezgoda

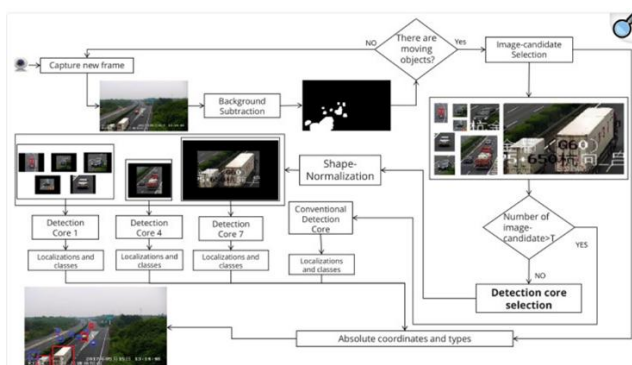
Kompjuterski vid, kao oblast veštačke inteligencije, koristi algoritme za automatsku analizu i interpretaciju vizuelnih podataka iz saobraćajnih kamera, što omogućava identifikaciju i praćenje objekata u realnom vremenu (Slika 1.). U kontekstu saobraćaja, tehnologije kompjuterskog vida mogu da identifikuju vozila, pešake, bicikliste, kao i saobraćajnu signalizaciju, što doprinosi prepoznavanju rizika i potencijalno opasnih situacija. Ova tehnologija koristi napredne tehnike prepoznavanja objekata, kao što su detekcija obrisa i dubinske analize, kako bi se utvrdila lokacija i veličina različitih objekata u prostoru [3].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Jovanović, red. Prof.



Slika 1. Primena kompjuterskog vida [11]



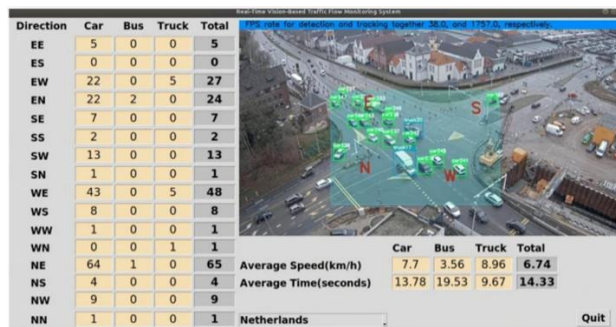
Slika 2. Optimizovani okvir za detekciju vozila koristeći kombinaciju oduzimanja pozadine i CNN[12]

Šematski dijagram predloženog okvira za detekciju vozila u video nadzoru pomoću kombinacije metoda oduzimanja pozadine (BS) i konvolucionih neuronskih mreža (CNN) (Slika 2.). Proces započinje snimanjem novog frejma sa nadzorne kamere, nakon čega se primenjuje metoda oduzimanja pozadine da bi se detektovali pokretni objekti. Ako nema pokretnih objekata, sistem prelazi na sledeći frejm. Ukoliko postoje pokretni objekti, vrši se selekcija delova slike koji sadrže te objekte (image-candidate selection). Ovi delovi slike se zatim prilagođavaju određenom obliku putem "shape-normalization" modula. Ako broj selektovanih slika premašuje unapred zadati prag (T), koristi se konvencionalni CNN detektor na celom frejmu. Za selektovane slike-kandidate sa brojem ispod praga, bira se odgovarajući CNN detekcioni modul (Detection Core 1, 4, 7), gde se primenjuju različiti CNN modeli za detekciju i klasifikaciju objekata. Konačni izlaz su tačne lokacije i klase detektovanih vozila, koje se vraćaju na originalnu sliku i prikazuju kao obeležene vozila sa koordinatama i tipovima. Ovaj dijagram prikazuje kako različiti moduli funkcionišu zajedno kako bi se poboljšala efikasnost detekcije vozila smanjujući broj nepotrebnih operacija, čime se optimizuje upotreba resursa sistema.

2.1.2. Primena modela za predikciju saobraćajnih uslova u realnom vremenu

Primena senzora i IoT uređaja za prikupljanje podataka o saobraćajnim uslovima u realnom vremenu. Podaci koje ovi uređaji prikupljaju obuhvataju informacije o brzini vozila, gustini saobraćaja, vremenskim uslovima, radovima na putu, pa čak i o nezgodama i zastoju na putu. Takvi podaci se koriste za stvaranje sveobuhvatnih modela koji omogućavaju da se donesu brze i efikasne odluke. Ovi modeli ne samo da unapređuju saobraćajnu efikasnost, već

značajno doprinose i smanjenju zagađenja, smanjenju vremena putovanja i povećanju opšte bezbednosti [4].



Slika 3. Snimak ekrana alata zasnovanog na formi koji prikazuje statistiku protoka saobraćaja u realnom vremenu prikupljenu iz video strima u Norveškoj [13]

Sistem za nadzor saobraćaja u realnom vremenu (Slika 4.) koji koristi video snimke sa nadzornih kamera na raskrsnicama kako bi pratio i analizirao saobraćajni tok. Ovakvi sistemi služe za automatsko praćenje protoka vozila, kategorizaciju učesnika u saobraćaju (automobili, autobusi, teretna vozila), kao i za merenje ključnih parametara kao što su brzina vozila i vreme koje im je potrebno da prođu kroz raskrsnicu. Glavna svrha ovakvog sistema je unapređenje saobraćajne efikasnosti i bezbednosti. Sistem može pomoći u identifikaciji zagušenja, optimizaciji upravljanja semaforima, pa čak i detekciji prekršaja poput prekoračenja brzine ili prolaska kroz crveno svetlo. Pomoću podataka prikupljenih u realnom vremenu, nadležni organi mogu pravovremeno reagovati na incidente, dok se dugoročno ovi podaci mogu koristiti za analizu saobraćajnih obrazaca i planiranje unapređenja infrastrukture. S obzirom na to da sistem automatski prikuplja i obrađuje podatke, eliminiše potrebu za ručnim praćenjem saobraćaja, čime se povećava efikasnost i smanjuje mogućnost grešaka. Ovakvi sistemi često se koriste u urbanim sredinama za bolje upravljanje saobraćajem i smanjenje zastoja.

3. PRIMENA AI I ML U PROCENI BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Primena veštačke inteligencije (AI) i mašinskog učenja (ML) u proceni bezbednosti saobraćaja postaje sve značajnija, omogućavajući analizu velikih količina podataka u realnom vremenu i unapređenje bezbednosnih standarda u železničkom, vodnom i vazdušnom saobraćaju. U železničkom saobraćaju, AI se koristi za detekciju kvarova na šinama i identifikaciju prepreka na pruzi, dok u vodnom saobraćaju AI pomaže u praćenju plovila i prepoznavanju sumnjivih aktivnosti. U vazdušnom saobraćaju, AI doprinosi otkrivanju anomalija, asistenciji tokom sletanja i predviđanju vremenskih uslova, što omogućava pravovremeno prilagođavanje rute leta. Napredni AI modeli, kao što su neuronske mreže i algoritmi "dubokog" učenja, koriste se za detekciju rizika, predviđanje potencijalnih opasnosti i implementaciju preventivnih mera koje povećavaju bezbednost i smanjuju broj incidenata u svim vrstama transporta.

Na primer, primena veštačke inteligencije u železničkom saobraćaju fokusira se na detekciju kvarova na šinama i prepreka na pruzi, poput korozije, pukotina i deformacija, koje mogu ugroziti bezbednost. Algoritmi za obradu slike, poput Gabor filtera, talasne transformacije i konvolutivnih

neuronskih mreža (CNN), koriste se za identifikaciju ovih oštećenja. CNN modeli uspešno analiziraju slike visoke rezolucije kako bi otkrili mikrostrukturne promene na šinama, omogućavajući pravovremene popravke i održavanje [5].

4. BIBLIOMETRIJSKA ANALIZA AI U BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Bibliometrijska analiza omogućava istraživačima da prate razvoj naučnih trendova i identifikuju ključne teme u oblasti bezbednosti saobraćaja, posebno u kontekstu primene veštačke inteligencije (AI). Ova metoda pruža uvid u dominantne teme, kao što su analiza podataka za identifikaciju opasnih mesta na putevima, teorijske osnove neuronskih mreža, detekcija saobraćajnih znakova pomoću kompjuterskog vida, i primena "dubokog" učenja za unapređenje bezbednosti. Takođe, analize društvenih mreža i naučne literature pokazuju rastući interes za integraciju AI u transportne sisteme, sa sve većim fokusom na autonomna vozila, prediktivno održavanje i bezbednost vozača [10].

5. INTEGRACIJA AI SA IOT I 5G U SAOBRAĆAJNOJ INFRASTRUKTURI

Integracija veštačke inteligencije (AI) sa Internetom stvari (IoT) i 5G tehnologijom u saobraćajnoj infrastrukturi predstavlja revolucionarni korak ka stvaranju inteligentnih, povezanih i efikasnijih transportnih sistema. Ova integracija omogućava poboljšanje bezbednosti saobraćaja, optimizaciju protoka saobraćaja i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu, čime se doprinosi održivijem urbanom razvoju. Kroz pametne saobraćajne sisteme, podaci prikupljeni putem IoT senzora u realnom vremenu mogu se analizirati putem AI algoritama kako bi se pravovremeno doneli informisani i prilagodljivi saobraćajni signali i preporuke za vozače [6].

Jedan od glavnih načina na koji AI doprinosi razvoju infrastrukture je kroz predikciju potreba za izgradnjom novih objekata, kao što su putevi, mostovi, i pešačke zone. Korišćenjem modela mašinskog učenja, moguće je predvideti gde će u budućnosti biti potrebne nove saobraćajne mreže, čime se može smanjiti prekomerna gradnja i optimizovati alokacija budžeta. Na primer, AI može analizirati trenutne saobraćajne zagušenja i na osnovu trendova predložiti proširenje postojećih puteva ili izgradnju dodatnih mostova kako bi se smanjila zagušenja. Ovo omogućava gradovima da donose informisane odluke koje će zadovoljiti potrebe građana i smanjiti negativan uticaj na životnu sredinu [7].

6. INTEGRACIJA ITS SISTEMA U GRADOVIMA IZMIR, PRINCE WILLIAM COUNTY, MYSORE

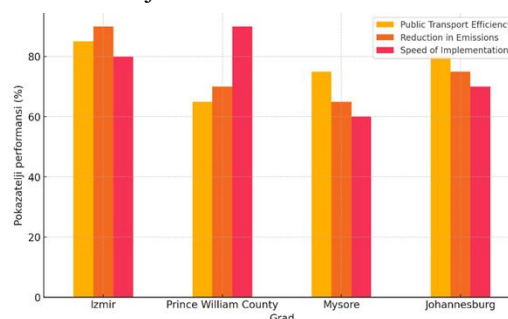
Integracija Inteligentnih Transportnih Sistema (ITS) u gradovima predstavlja ključan korak ka modernizaciji i unapređenju urbanog saobraćaja. ITS sistemi koriste napredne tehnologije, kao što su senzori, kamere, IoT uređaji, i softver za analizu podataka, kako bi omogućili efikasno upravljanje saobraćajem i poboljšanje bezbednosti na putevima. Ovi sistemi omogućavaju prikupljanje i analizu podataka u realnom vremenu, što gradskim vlastima i službama za hitne intervencije omogućava da brzo reaguju na zastoje, nezgode ili promene u saobraćajnim uslovima. ITS takođe doprinosi

smanjenju zagađenja, optimizacijom protoka saobraćaja i smanjenjem gužvi, što doprinosi održivijem urbanom razvoju.

6.1. Benchmarking analiza ITS sistema u sva četiri grada

Benchmarking metoda omogućava upoređivanje ITS sistema u četiri različita grada: Izmir, Prince William County, Mysore i Johannesburg, uzimajući u obzir ključne pokazatelje uspeha kao što su efikasnost javnog prevoza, smanjenje zagađenja i emisije CO₂, te brzina implementacije i tehničke sposobnosti.

Benchmarking analiza ITS sistema u ovim gradovima (Grafik 1.) pokazuje da Prince William County i Izmir prednjače u brzini implementacije i tehničkim sposobnostima, dok Izmir ostvaruje najbolje rezultate u smanjenju zagađenja i optimizaciji javnog prevoza. Johannesburg i Mysore su postigli napredak, ali su suočeni sa izazovima u infrastrukturi i finansijama koji usporavaju dalju modernizaciju.



Grafik 1. Poređenje performansi ITS sistema u gradovima

7. IZAZOVI I BUDUĆNOST AI U SAOBRAĆAJU

Primena veštačke inteligencije (AI) u saobraćajnim sistemima suočava se s brojnim izazovima, od kojih su neki tehničke prirode, dok su drugi povezani sa sigurnošću i privatnošću. Visoki troškovi implementacije i održavanja predstavljaju osnovni problem, jer AI zahteva napredne hardverske resurse, složene senzorske sisteme i kontinuirano ažuriranje softvera. Instalacija i održavanje tih sistema, koji često uključuju mreže senzora, kamere, LIDAR i druge napredne tehnologije, može biti finansijski iscrpljujuća, posebno za manje opštine ili zemlje sa ograničenim budžetima za infrastrukturu [8].

Primena AI u saobraćaju već privlači veliku pažnju istraživača i stručnjaka, koji u budućnosti predviđaju značajan uticaj na različite aspekte transporta i infrastrukture. Mnogi veruju da će AI revolucionarizovati saobraćaj kroz optimizaciju protoka, smanjenje saobraćajnih zastoja, unapređenje bezbednosti i podršku održivim praksama. Postojeći stavovi i istraživanja pokazuju da će AI doprineti kreiranju pametnih saobraćajnih sistema i unapređenju upravljanja gradskim i međugradskim saobraćajem [7].

8. ULOGA UNIVERZITETA U RAZVOJU AI TEHNOLOGIJA ZA BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA

Univerziteti širom sveta aktivno razvijaju AI tehnologije kako bi unapredili bezbednost saobraćaja, istovremeno uključujući edukativne programe koji osposobljavaju studente za primenu ovih tehnologija u stvarnom svetu.

Kroz različite institute i laboratorije, ovi univerziteti istražuju napredne metode mašinskog učenja, analize podataka i IoT sistema koji omogućavaju preciznu predikciju saobraćajnih nezgoda i optimizaciju tokova saobraćaja. U okviru nastavnih programa, studenti stiču praktična znanja o korišćenju senzora, kamera i autonomnih sistema, koji su ključni za efikasno upravljanje bezbednošću na putevima. Uz pomoć simulacija i rada na stvarnim projektima, oni uče kako da integrišu AI rešenja u postojeće saobraćajne mreže, čime se značajno smanjuje rizik od nezgoda. Osim tehničkih veština, studenti razvijaju i kritičko razmišljanje, jer učestvuju u razmatranju etičkih i društvenih aspekata AI primene u saobraćaju. Ovakvi programi ne samo da unapređuju bezbednost, već i pripremaju mlade stručnjake da postanu lideri u oblasti saobraćajne tehnologije [9].

9. ZAKLJUČAK

AI tehnologije, kao što su mašinsko učenje i kompjuterski vid, omogućavaju identifikaciju rizičnih vozača i predikciju saobraćajnih nezgoda, čime se znatno unapređuje bezbednost na putevima. Ove tehnologije već donose opipljive rezultate, omogućavajući donošenje efikasnijih odluka u realnom vremenu, što može smanjiti broj nezgoda i povećati bezbednost saobraćaja.

Sistemi zasnovani na mašinskom učenju analiziraju velike količine podataka i prepoznaju obrasce koji ukazuju na potencijalne opasnosti. Takva predviđanja omogućavaju proaktivno donošenje mera, kao što je pravovremeno slanje upozorenja vozačima ili prilagođavanje saobraćajnih signala kako bi se smanjio rizik od nezgoda. Takođe, integracija AI sistema sa inteligentnim transportnim sistemima (ITS) pruža dodatne mogućnosti za optimizaciju saobraćajnih tokova i smanjenje gužvi.

Pored predikcije nezgoda, uloga AI u autonomnim vozilima je ključna. Ova vozila koriste napredne algoritme za analizu saobraćajnih uslova i prilagođavaju se u skladu sa dinamičkim promenama na putu, čime se dodatno povećava bezbednost.

Zaključuje se da su dalja ulaganja u razvoj AI tehnologija od suštinske važnosti za budućnost bezbednosti saobraćaja. Zajednički naponi akademskih ustanova, industrije i državnih organa mogu obezbediti da se ove tehnologije primenjuju na način koji maksimalno doprinosi smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i poboljšanju uslova na putevima.

10. LITERATURA

- [1] Romanowska, A., & Budzyński, M. (2022). Investigating the impact of weather conditions and time of day on traffic flow characteristics. *Weather, Climate, and Society*, 14(3), 823-833.
- [2] Bartels, H., Wahl, S., & Gebhardt, C. (2020). The use of radar-based precipitation data for predicting traffic accidents with logistic regression models. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*.
- [3] Yuan, Z., Wu, X., Wang, Y., & Liu, X. (2024). Real-Time Monitoring Method for Traffic Surveillance Scenarios Based on Enhanced YOLOv7. *Applied Sciences*, 14(16), 7383.

- [4] Lee, C.-C., & Wu, X. (2022). Design and Implementation of an ML and IoT Based Adaptive Traffic-Management System for Smart Cities. *Sensors*, 22(8), 2908.

- [5] Luo, H., Cai, L., & Li, C. (2023). Rail Surface Defect Detection Based on An Improved YOLOv5s. *Applied Sciences*, 13(12), 7330.

- [6] Khan, M. A., Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2020). Artificial Intelligence of Things (AIoT) for Smart Cities and Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(8), 5341-5351.

- [7] Zhang, Y., & Li, X. (2020). AI for Urban Infrastructure Development and Traffic Flow Prediction. *IEEE Transactions on Sustainable Cities*, 15(3), 234-245.

- [8] Vasudevan, M., Townsend, H., & Samach, M. (2022). Artificial Intelligence (AI) for Intelligent Transportation Systems (ITS): Challenges and Potential Solutions.

- [9] Jevinger, Å., Zhao, C., Persson, J. A., & Davidsson, P. (2024). Artificial Intelligence for Improving Public Transport: A Mapping Study. *Public Transport*, 16(1), 99-158.

- [10] Skitmore, M., Qu, Z., Skulmoski, G., & Chen, J. (2024). The Application of Machine Learning and Deep Learning in Intelligent Transportation: A Scientometric Analysis and Qualitative Review of Research Trends. *Sustainability*, 16(14), 5879.

- [11] Primena kompjuterskog vida <https://viso.ai/applications/computer-vision-applications/> (pristupljeno u oktobru 2024)

- [12] Optimizovani okvir za detekciju vozila koristeći kombinaciju oduzimanja pozadine i CNN <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1193> (pristupljeno u oktobru 2024)

- [13] Snimak ekrana alata zasnovanog na formi koji prikazuje statistiku protoka saobraćaja u realnom vremenu prikupljenu iz video strima u Norveškoj <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-14418-1>

(pristupljeno u oktobru 2024)

Kratka biografija:



Bojana Savić rođena je u Valjevu 1999. god. Bachelor rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaja i transporta odbranila je 2022.god. kontakt: bojanabsavic@gmail.com

KREIRANJE ULTIMATIVNOG ANTAGONISTE U CRTANIM FILMOVIMA**CREATING THE ULTIMATE CARTOON ANTAGONIST**

Ksenija Tubić, Bojan Banjanin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – U ovom radu su predstavljene osnovne karakteristike izgleda antagonista, sa akcentom na crte lica. Sprovedenjem ankete vezane za uobičajene crte lica zlikovaca, dobijeni su odgovori na osnovu kojih je kreiran novi antagonist.

Ključne reči: *Crtani film, antagonist, zlikovac, crte lica, skica, Krita*

Abstract – *This paper presents the basic characteristics of the appearance of antagonists, with an emphasis on facial features. By conducting a survey related to common villain facial traits, responses were obtained that served as the basis for creating and drawing a new antagonist.*

Keywords: *Cartoon, antagonist, villain, facial features, sketch, Krita*

1. UVOD

Animirani filmovi su oduvijek imali ključnu ulogu u oblikovanju kinematografije, a jedan od najvažnijih elemenata narativne strukture jeste sukob između protagoniste i antagoniste. Antagonista, kao glavna prepreka protagonistu, igra vitalnu ulogu u oblikovanju priče i održavanju interesovanja publike. Kroz decenije, animirani filmovi su razvijali kompleksne antagoniste. Savremeni antagonisti postaju višeslojni likovi sa detaljno razrađenim motivacijama, osobinama i emotivnim stanjima, što ih čini izuzetno intrigantnim za istraživanje.

2. PRIKAZ ANTAGONISTA

Antagonista je sila u priči sa kojom se protagonista suočava; bilo da je ta sila ljudska, prirodna ili natprirodna. Riječ „antagonista“ potiče od grčke riječi *ἀγωνίζεσθαι*, koja doslovno znači „boriti se protiv“. Svakom protagonistu je potrebna antagonistička sila, ali to ne znači da ta sila mora biti drugi lik. Glavna prepreka junaku može biti okruženje, životinja kao što je ajkula ubica, ideja, ili nešto pogrešno unutar njega samog [1].

2.1. Vrste antagonista i njihove osobine

Antagonisti su obično arhizlikovci, ali ne moraju biti ljudi; oni mogu biti bilo koji opozicioni element koji sprečava glavnog junaka da ostvari svoju glavnu želju. Naravno, mnoge priče uključuju više od jednog antagoniste:

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Bojan Banjanin, docent.

Lord Voldemor (*Lord Voldemort*) je glavni antagonist u serijalu o Hariju Poteru (*Harry Potter*), ali drugi likovi, kao što je Drako Melfoj (*Draco Malfoy*), djeluju kao sekundarni antagonisti. Generalno gledano, postoje četiri različite vrste antagonista: zlikovci, kreatori konflikta, nežive sile i sam protagonista [2].

Popularan tip zlikovca u zapadnom narativu je onaj koji predstavlja čisto zlo. Sauron (*Sauron*) u „Gospodaru prstenova“ (*Lord Of The Rings*) je potpuno zlo biće koje Frodo (*Frodo Baggins*) i njegovi saputnici moraju spriječiti da uništi Srednju Zemlju. Iago (*Iago*), antagonist u Šekspirovom „Otelu“ (*Othello*), čini se da se raduje uništavanju Otela i Dezdemone (*Desdemona*) bez bilo kakvog dobrog razloga [3].

Zlikovci mogu koristiti manipulaciju da projektuju auru vlasti ili superiornosti kako bi izgledali moćno i pod kontrolom, što im olakšava uvjeriti ljude da urade ono što žele. Manipulativni zlikovci su često šarmantni i imaju harizmu, tako da im ljudi vjeruju čak i kada ne bi trebalo. Kontrola je još jedan oblik manipulacije [4].

Mnogi zlikovci u literaturi su likovi koji pokazuju spektar emocija, ponašanja i motivacija. Zlikovci iz stripova mogu biti nešto ekstravagantniji od loših momaka u proznom romanu, ali ipak treba da imaju neku osnovu u realnom svijetu [3].

Surovost i nasilje su omiljeni alati među zlikovcima, dok pokušavaju da manipulišu, kontrolišu i degradiraju svoje žrtve. Ovo može da se manifestuje kroz psihološko, emotivno ili fizičko zlostavljanje. Surovi zlikovci uživaju u patnji drugih, nedostaje im empatije i saosjećanja zbog iskrivljenog naboja moralnih vrijednosti [4].

2.2. Fizički izgled antagonista

Negativne facijalne ekspresije se identifikuju brže i više se obrađuju nego lica sa pozitivnim ili neutralnim izrazima u različitim zadacima. Lica sa obrvama u obliku spušenog V privlače više pažnje – i obrve u obliku spušenog trougla primjećene su brže nego obrve u obliku uzdignutog trougla [5].

Zlikovci imaju tendenciju da imaju veoma izražene jagodice. Ovo je daleko češće u animiranim djelima, jer su crte lica često prenaplašene. Oštrije jagodice daju licu oštrij, ugaoni izgled, što ponekad može lakše prenijeti intenzivne emocije, ili zbog uznemirujuće skeletne, smrtonosne pojave koju mogu da daju [6].

Animirani filmski stvaraoci često koriste oči likova kako bi izrazili njihovu ličnost. Likovi sa plavim očima najčešće preuzimaju ranjivije uloge, dok likovi sa tamnim očima preuzimaju dominantnije uloge. U „Alisi u zemlji čuda“

(*Alice In Wonderland*), Alisa ima plave oči, dok Kraljica srca (*Queen Of Hearts*) ima smeđe oči [7].

Često, Dizniji zlikovci imaju ili zelene šarenice ili su beonjače njihovih očiju žute boje. Žute beonjače su generalno neuobičajene i povezuju se sa bolestima kao što su hepatitis, autoimune bolesti jetre, rak ili anemija srpastih ćelija [8].

Primjer zlikovca žutih beonjača i naglašenih jagodica je prikazan na slici 1.



Slika 1. Zlikovac žutih beonjača i naglašenih jagodica

Zle obrve su obično tamnije i zakrivljenije od obrva bilo kog drugog lika. Debljina obrva može varirati. Ukoliko heroj ima guste obrve, zlikovac će obično imati veoma tanke kako bi bio suprotnost heroju. Obrve zlikovca uvijek zadržavaju karakteristični luk koji se često javlja u njihovom dizajnu. Ponekad će zlikovac imati ožiljak koji prelazi preko jedne obrve [9].

Postoji uobičajena asocijacija između lica sa deformitetom i zlikovca ili zle osobe u filmovima. Univerzitet u Teksasu je otkrio da 60% svih najboljih američkih filmskih zlikovaca imaju kožna oboljenja, uključujući alopeciju, više ožiljaka na licu, *verruca vulgaris* (bradavice) na licu i nabubrene noseve. Filmski stvaraoci koriste dermatološke bolesti za prikazivanje razvratnih likova još od ere nijemog filma [10].

2.3. Antagonisti u umjetnosti

Otkako čovjek postoji, prikazuje ono čega se najviše boji. Drevni Egipćani su pravili reljefe Apofisa, Asteci su u svojoj umjetnosti prizivali strahovanog Tezkatlipoku. Hrišćani su hiljadama godina prikazivali đavola kako progoni margine brojnih knjiga i rukopisa [11].

Tokom Srednjeg veka i renesanse, slike đavola su često sadržale monstruoze i zastrašujuće slike rogatih, šupljih i dijaboličnih stvorenja iz pakla. Međutim, prosvetiteljstvo je počelo da mijenja način na koji ljudi percipiraju đavole. Kako su ljudi počeli da vjeruju u nauku, koncepti đavola su se promijenili [12].

Scenarij filma ne bi mogao da teče bez elementa konflikta, niti bi se očekivanja publike mogla održati. Iz tog razloga, zlikovci su u filmovima potrebni isto koliko i heroji. Zlikovac koji postoji od samog početka filma, stalno je u borbi sa herojem [13].

Stripovi su već decenijama bogata podloga za pričanje priča, fascinirajući čitaoce šarenim herojima i zlim antagonistima. Zlikovci igraju podjednako ključnu ulogu u oblikovanju narativa. Ovi zli karakteri nisu samo jednodimenzionalni zločinci, već složene, privlačne i ponekad čak i simpatične figure [14].

Crtani filmovi su ključni dio zabave, očaravajući publiku svojim živopisnim likovima i maštovitim svjetovima. U širokom i šarenom pejzažu istorije crtanih filmova, zlikovci igraju ključnu ulogu u oblikovanju narativa,

izazivanju protagonista i ostavljanju trajnog uticaja na publiku. Zlikovci u animiranim filmovima nisu samo sile protivljenja, već integralni dio bezvremenih priča koje nastavljaju da očaravaju publiku svih uzrasta [15].

3. KREIRANJE ANTAGONISTE

Za kreiranje antagoniste prvo su bile potrebne detaljnije informacije o tome kakve crta lica gledaoci povezuju sa zlikovcima. Prvo je odrađeno ispitivanje u vidu ankete, te su rezultati ankete iskorišćeni kao osnova za smišljanje i crtanje antagoniste.

3.1. Istraživanje

Napravljena je *Google Forms* anketa koja je dijeljena preko društvenih mreža i elektronske pošte. Tri pitanja su bila otvorenog tipa, dok su ostala pitanja sa više izbora. Osim prvih, demografskih pitanja, vezanih za pol i godine ispitanika, pitanja su formulisana tako da se sazna šta je zapravo široj masi karakteristično za izgled zlikovca.

U anketi je učestvovalo osamdeset i sedam ispitanika, od koji je 47 ženskog, a 40 muškog pola. Najviše ispitanika je starosne dobi od 18 do 25 godina (58 ljudi).

Pitanja otvorenog tipa daju informacije o tome koji likovi iz crtanih filmova su najstrašniji ispitaniku. Najviše odgovora je bilo vezano za vještice i zle mačeha, zatim Skar (*Scar*) iz „Kralja lavova“ (*Lion King*) i Gargamela (*Gargamel*) iz Štrumpfova (*The Smurfs*).

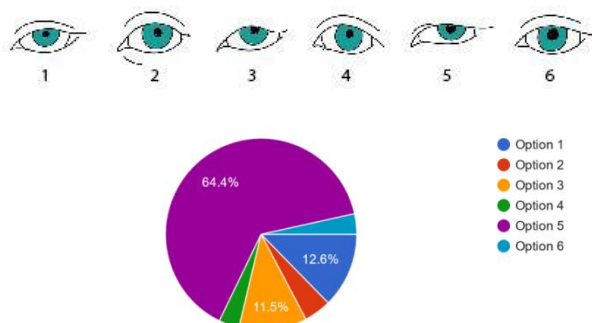
Tri pitanja su bila postavljena tako da se ponuđeni likovi ocijene od 1 do 10. Najviše prosječne ocjene iz tri grupe zlikovaca imaju zlikovci prikazani na slici 2.



Slika 2. Zlikovci koji su imali najveće prosječne ocjene

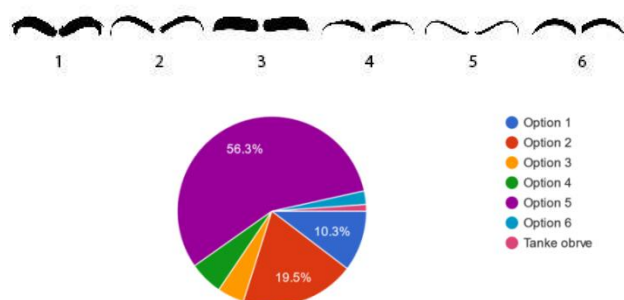
Osamdeset i dva ispitanika tvrde da je antagonista najčešće muškog pola. Pitanje za oči antagoniste, koje se odnosi na vrstu očiju, ima jednak broj odgovora za vanzemaljske i životinjske oči, 26.4% za svaki od njih. Pitanje za karakteristike očiju je dobilo najviše odgovora za sitne zenice (36.8%).

Kod pitanja vezanog za biranja opcije očiju, najviše odgovora imala je peta opcija (opcije i rezultati prikazani na slici 3).



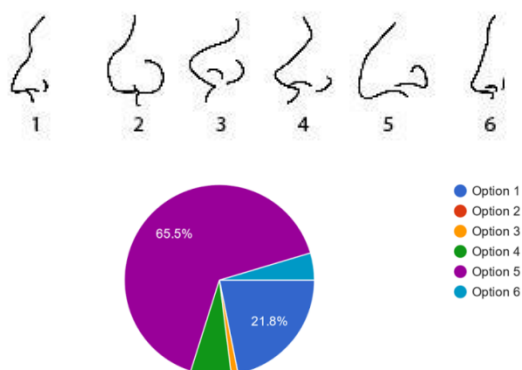
Slika 3. Rezultati biranja očiju

Četrdeset i jedan ispitanik tvrdi da su obrve jako bitne za izgled antagoniste. Kod biranja obrva, najviše glasova imala je peta opcija (opcije i rezultati prikazani na slici 4).



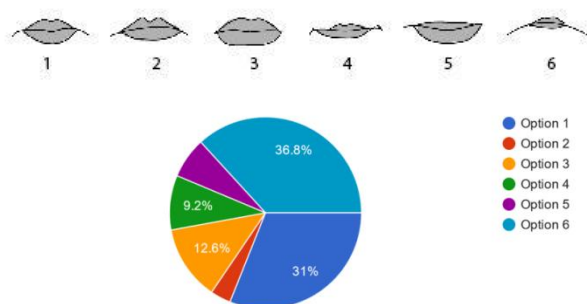
Slika 4. Rezultati biranja obrva

Pedeset i sedam ispitanika biralo je petu opciju za nos (opcije i rezultati prikazani na slici 5).



Slika 5. Rezultati biranja nosa

Za šestu opciju usta glasala su trideset i dva ispitanika (opcije i rezultati prikazani na slici 6).



Slika 6. Rezultati biranja usana

Po odgovorima ispitanika (59.8% glasova) utvrđeno je da zubi antagoniste ne moraju biti oštri. Šezdeset i dva ispitanika tvrde da je kosa bitna, a četrdeset da bi nešto što zapravo nije kosa (zmije, vatra, šiljci i slično) povezali sa zlikovcem.

Paleta boja koje su imale najviše glasova za boje antagoniste su najčešće imale tamne tonove zelene, crvene, ljubičaste i plave boje, dok je crna boja bila prisutna u svakoj od tih paleta.

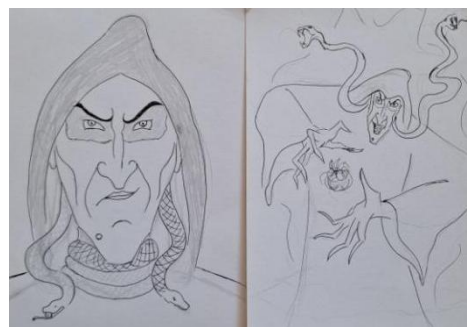
Posljednje pitanje, otvorenog tipa, je ispitanicima dalo mogućnost da dopišu nešto što je karakteristično za izgled zlikovca, a nije navedeno u anketi. Najčešći odgovori su bili mladeži, ožiljci i neprirodno dugi prsti.

3.2. Izrada crteža

Za izradu probne skice lica korišteni su, kao referenca, odgovori koji su imali najviše glasova. Cilj je bio da se odgovori ankete što bolje iskoriste za izradu lika, dakle, lik je muškog pola, sa već određenim izgledom glavnih crta lica i paletom boja, nema oštre zube i umjesto kose ima zmije. Zbog podudaranja i sličnosti crta lica, Frolo (*Frollo*) iz „Zvonara bogorodičine crkve“ je jedna od glavnih referenci za izgled lica.

Pošto je zla maćeha u obliku starice jedan od likova sa najvećom ocjenom, odjeća novonastalog antagoniste je inspirisana njenom širokom haljinom sa kapuljačom. Mladež i dugi prsti kod ovog antagoniste su još dva primjera korištenja odgovora iz ankete.

Skice antagoniste prikazane su na slici 7.



Slika 7. Finalne skice

Crtež je rađen u programu za crtanje Krita. Za crtanje kontura korištena je četkica *Basic-5 Size Opacity*. Za bojenje karaktera korištene su različite četkice tipa *Bristles*. Glavne boje karaktera su tamne nijanse ljubičaste i zelene, te nijanse sive za lice. Osim njih, koriste se i crna i crvena boja.

Nakon početnog bojenja karaktera, neophodno je bio nacrtati različite vrste sjenki kako bi crtež imao dubinu i kako bi se pokazao međusobni odnos dijelova crteža. Osim tamnih sjenki, zbog svjetla koji daje plamen antagoniste, dijelovi tijela na koje on baca svjetlost su posvijetljeni bijelim i ljubičastim nijansama. Takvi efekti su napravljeni četkicama *Airbrush Soft*, *WaterC Special Splats* i četkice tipa *Opacity*. Bojenje i sjenčenje rađeno je u više slojeva, kako bi se greške mogle lakše obrisati ali i zbog podešavanja intenziteta boje sloja.

Finalni izgled antagoniste prikazan je na slici 8.



Slika 8. Finalni izgled antagoniste

4. ZAKLJUČAK

Za svaku dobru priču, nebitno u kojoj vrstici umjetnosti, potreban je i dobar antagonist. Vizuelni izgled antagoniste igra ključnu ulogu u tome kako publika doživljava tog lika. Crte lica antagonista u crtanim filmovima igraju ključnu ulogu u definisanju njihovog karaktera i doprinose narativnoj dinamici. Njihov dizajn nije samo estetski, već i simbolički, jer prenosi poruku o unutrašnjim osobinama lika.

Oštri uglovi, asimetrija, neprirodno velike ili male crte i upotreba neobičnih proporcija često signaliziraju publici da je lik zao. Iako su mnogi zlikovci prikazani sa klasičnim zastrašujućim crtama lica, neki crtani filmovi stvaraju negativce koji na prvi pogled djeluju simpatično. Samim tim, može se zaključiti da, koliko god je bitan izgled antagoniste, ipak je ono, što je najstrašnije, sve što se ne može vidjeti na prvi pogled.

Kako bi se smislio i prikazao dobar antagonist potrebno je dublje zaći u psihologiju, stereotipe, čak i tradiciju. Ne postoji tačna jednačina za dobijanje idealnog antagoniste, ali kombinacijom klasičnih fizičkih osobina antagonista, sa lošim unutrašnjim osobinama, može se dobiti jedan jako strašan, upečatljiv i pamtljiv lik.

5. LITERATURA

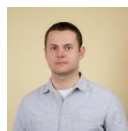
- [1] C. Heckmann, „What is an Antagonist — Definition & Examples“, studiobinder.com, [Online] Dostupno na: <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-an-antagonist-definition/> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [2] „The 4 Main Types of Antagonists“, masterclass.com, [Online] Dostupno na: <https://www.masterclass.com/articles/the-main-types-of-antagonists> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [3] „5 Characteristics of a Compelling Villain“, masterclass.com, [Online] Dostupno na: <https://www.masterclass.com/articles/characteristics-of-a-compelling-villain> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [4] N. Tuli, „Naughty and Definitely Not Nice: What Characteristics Make a Great Villain“, dabblewriter.com, [Online] Dostupno na: <https://www.dabblewriter.com/articles/naughty-and-definitely-not-nice-what-characteristics-make-a-great-villain> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [5] K. Felmingham, „V-shaped facial features are threatening? You must be joking“, theconversation.com, [Online] Dostupno na: <https://theconversation.com/v-shaped-facial-features-are-threatening-you-must-be-joking-7373> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [6] „Villainous Cheekbones“, tvtropes.org, [Online] Dostupno na: <https://tvtropes.org/pmwiki/pmwiki.php/Main/VillainousCheekbones> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [7] D. Arcus, Vulnerability and eye color in Disney cartoon characters, Čikago, SAD: University of Chicago Press, 1989.
- [8] „Unnatural Eyes“, anatomyofevil.wordpress.com, [Online] Dostupno na: <https://anatomyofevil.wordpress.com/2011/12/15/unnatural-eyes/> (pristupljeno u septembru 2024.)

- [9] „Evil Eyebrows“, tvtropes.org, [Online] Dostupno na: <https://tvtropes.org/pmwiki/pmwiki.php/Main/EvilEyebrows> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [10] J.A. Croley, V. Reese, R.F. Wagner, Dermatologic features of classic movie villains: the face of evil, Чикаго, САД: JAMA dermatology, 2017.
- [11] „Art and the Allure of Evil“, medium.com, [Online] Dostupno na: <https://medium.com/the-collector/art-and-the-allure-of-evil-d8b5fc490ba6> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [12] M. Silverberg, „Five Hundred Years of Satanic Art“, qz.com, [Online] Dostupno na: <https://qz.com/255146/five-hundred-years-of-satanic-art/> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [13] S. Sim, „Transformation Of The Villain In Hollywood“, researchgate.net, [Online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/330413126_Transformation_Of_The_Villain_In_Hollywood (pristupljeno u septembru 2024.)
- [14] D. Holman, „Comic Book Villains: Unveiling the Most Notorious“, toonsmag.com, [Online] Dostupno na: <https://www.toonsmag.com/comic-book-villains-unveiling-the-most-notorious/> (pristupljeno u septembru 2024.)
- [15] S. Cress, „Iconic Villains in Cartoon History“, toonsmag.com, [Online] Dostupno na: <https://www.toonsmag.com/iconic-villains-in-cartoon-history/> (pristupljeno u septembru 2024.)

Kratka biografija:



Ksenija Tubić rođena je u Doboju 2000. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafično inženjerstvo i dizajn odbranila je 2023. god.
kontakt: ksenci@live.com



dr Bojan Banjanin rođen je u Novom Sadu 1986. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine, a od 2023. godine je u zvanju docenta. Oblasti interesovanja su Multimedije i razvoj video igara.
kontakt: bojanb@uns.ac.rs

ИНТЕРПОЛАЦИЈА У СОФТВЕРИМА ЗА АНИМАЦИЈУ**INTERPOLATION IN ANIMATION SOFTWARE**Тијана Баварчић, Бојан Бањанин, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ГРАФИЧКО ИНЖЕЊЕРСТВО И ДИЗАЈН**

Кратак садржај – Предмет рада је процес интерполације, који се одвија у позадини софтвера намењених анимацији и видео обради. Кроз рад објашњен је начин на који интерполација функционише и направљена је подела интерполације према врсти и алгоритму који се у том процесу покреће. Дат је преглед софтвера, који су у своје функционалности уврстили и AI интерполацију. У практичном делу рада направљен је увид у генерисане интерполације у *Moho* софтверу за анимацију.

Кључне речи: Интерполација, Анимација, Кључни кадрови, Линеарна интерполација, Безијерове криве, Безијерова интерполација, AI интерполација, *Moho*

Abstract – The work focuses on the interpolation process that runs in the background of video editing and animation software. This document presents an explanation of the operation of interpolation and divides it based on the kind and algorithm used to initiate the process. An overview of the software, which integrated AI interpolation in its functionality, was provided at the end of this study. In the practical part of this work, an insight was made into the generated interpolations in the *Moho* animation software.

Keywords: Interpolation, Animation, Keyframes, Linear interpolation, Bezier curves, Bezier interpolation, AI interpolation, *Moho*

1. УВОД

Како би се креирала радња у секвенци анимације, неопходно је дефинисати почетну и крајњу тачку за ту акцију на временској линији. Креиране тачке односно положаји називају се кључни кадрови (*eng. keyframe*) [1]. Процес креирања стања која се налазе између та два кључна кадра назива се интерполација [2].

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

Алгоритам интерполације попуњава празнине између кључних кадрова како би створио глатко и флуидно кретање. Основна идеја је да се попуни “празан

простор” између кључних кадрова, чиме се добија континуирано и природно кретање. У традиционалној анимацији овај процес се ради ручно и познат је као твининг (*eng. tweening*) [3].

Постоје три основне врсте интерполације [4]:

- 1) просторна,
- 2) визуална и
- 3) временска.

Просторна интерполација односи се на смер у којем се елементи крећу у простору. Она укључује анимирање позиције, оријентације и величине елемента. У зависности од типа путање по којој се анимирани објекат креће постоје:

- Линеарна просторна интерполација - кретање се одвија по правој путањи.
- Нелинеарна просторна интерполација - кретање се одвија по кривама неправилног облика.

Визуална интерполација односи се на визуалне карактеристике елемената, као што су боја, транспаренција, облик, текстура и слично [4].

Временска интерполација односи се на брзину којом се објекти крећу током времена, обухватајући и сва убрзање и успорења објеката. Као и код просторне, и код временске интерполације постоје две врсте:

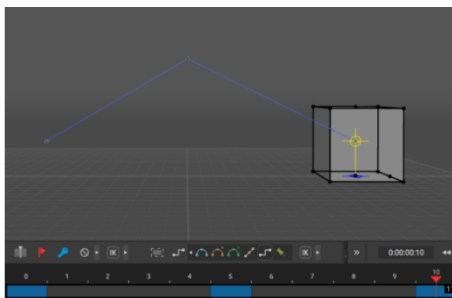
- Линеарна временска интерполација - резултује једноличним механичким покретима. Промена брзине кретања објеката генерише се у једнаким временским размацима.
- Нелинеарна временска интерполација - укључује и убрзање и успорење, те резултује мање предвидивим али природнијим покретима.

Различити типови интерполације користе различите методе за израчунавање вредности, који се грубо могу описати као правила која се користе за креирање међуположаја унутар интервала [3]:

- 1) Интерполација корака (слика 1) - анимирани објекти мењају своје позиције креирајући кључне кадрове, али се међуположаји не израчунавају [3,5,6].

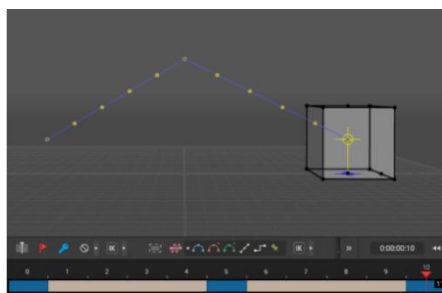
НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Бојан Бањанин, доцент.



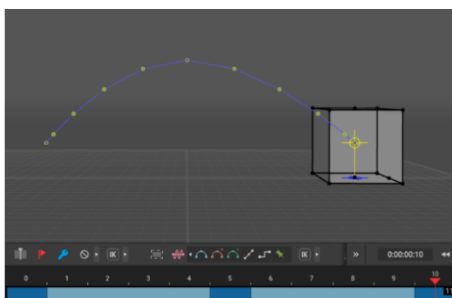
Слика 1. Интерполација корака [6]

2) Линеарна интерполација (слика 2) - анимирани објекти се крећу константном брзином између кључних кадрова. Кључни кадрови креирани линеарном интерполацијом обојени су беж бојом на временској линији [3,5,6].



Слика 2. Линеарна интерполација [6]

3) Нелинеарна (Безијева) интерполација (слика 3) - анимирани објекти се крећу према положајима генерисаним дуж Безијеве криве између кључних кадрова, уз ефекат убрзања на почетку и успорења при крају. Безијева интерполација резултује мање предвидивим и живљим покретима и променама, и заглађеним прелазом између различитих врста интерполације. Кључни кадрови креирани Безијевом интерполацијом обојени су светло плавом бојом на временској линији [3,5,6].



Слика 3. Безијева интерполација [6]

Обзиром на то да Безијева крива може бити дефинисана и усмерена већим бројем тачака од почетне и крајње, разликује се начин на који софтвери врше прорачун интерполације. У зависности од броја аргумената, Безијева крива може бити [7]:

- Линеарна (Безијева крива првог степена) - крива која повезује две тачке користећи линеарну интерполацију, о којој је раније било речи.
- Квадратна (Безијева крива другог степена) - крива која користи три тачке за креирање закривљеног облика.
- Кубна (Безијева крива трећег степена) - крива која користи четири тачке за постизање сложености и прецизније закривљености.
- Опште - криве које користе више од четири тачке и омогућавају већу сложеност и прецизност. Користе се напредним графичким апликацијама и дизајну, као што су векторски едитори [7].

Једне од најпознатијих метода нелинеарне интерполације су *ease-in* и *ease-out*. Такође, успорени почетак и успорени крај могу се заједно примењивати у склопу анимације уз коришћење опције *ease-in-out* и других варијација ове методе [8].

Осим самих кривих, интерполација узима у обзир и контролне тачке, које дефинишу облик криве и омогућавају детаљније контролисање начина на који се објекат креће између кључних кадрова [8].

Са напретком вештачке интелигенције, појавила се потреба за генерисањем AI алата намењених интерполацији, и додавањем ове функционалности у најпопуларније софтвере за анимацију и видео монтажу [9]. Такви AI алати прилагођавају број фрејмова који се приказују у секунди видеа према спецификацијама излазног уређаја (све чешће је то 30fps и више, уместо 24fps), креирају финије прелазе међу кадровима, и брину се о томе да анимација тече глатко, без прекида. Неки од најпознатијих софтвера који су увели AI интерполацију су: *UniFab Smoother AI* са *Smoother* функцијом; *Flowframes* који нуди опције избора жељеног алгорита на основу хардвера рачунара; *Topaz Video Enhance AI* који поседује функцију интерполације покрета и стабилизације треперења; *SmoothVideo Project* познат по томе што претвара видео записе у 60fps или више фрејмова у реалном времену; *Adobe Premiere Pro* нуди опције ручне и аутоматске интерполације са прилагодљивим подешавањима за жељене ефекте [9].

3. ПРАКТИЧНИ ДЕО

У оквиру практичног дела мастер рада „Дизајн и анимација карактера за 2Д краткометражни анимирани филм“ коришћен је *Moho* софтвер за анимацију. *Moho* поседује различите генерисане вредности интерполације: *Smooth*, *Linear*, *Ease In/Out*, *Ease In*, *Ease Out*, *Bezier*, *Step*, *Noisy*, *Bounce*, *Elastic* и *Cycle* [11-15]. Приликом анимације у склопу мастер рада коришћена је доминантно *Smooth* интерполација. *Smooth* интерполација функционише по принципу уграђене функције *Slow In* односно *Ease In*, односно акција се успорава када достигне крајњу позицију. Употребом *Smooth* интерполације постиже се природнији осећај кретања, који имитира кретање објеката у стварном свету [11].

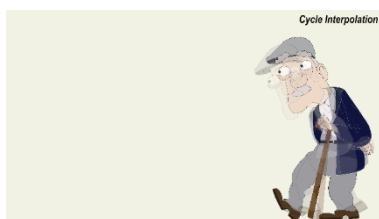
У сврху овог научног рада, одабрано је неколико акција присутних у анимацији у склопу мастер рада

„Дизајн и анимација карактера за 2Д краткометражни анимирани филм“, и на њад њима су примењени различити типови интерполације.

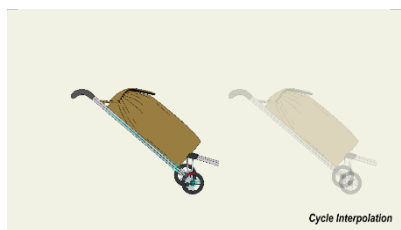
Cycle интерполација, користи се за креирање глатких, понављајућих анимација попут ходања, трептања, трчања или махања руком. Употребљава се и у сценама где су одређени покрети идентични или се одвијају континуирано, без потребе за подешавањем сваког појединачног корака. Употребом *Cycle* интерполације штеди се време и постиже конзистентност у анимацији. *Cycle* интерполација може се применити на групе костију, објеката или *layer*-а [12]. У склопу анимације одабране су следеће акције на које је примењена *Cycle* интерполација: лет голуба, дедино кретање и померање точкића током кретања колица (слике 4, 5 и 6). Све три радње састоје се од идентичних корака који се циклично понављају – голуб маше крилима, деда прави идентичне кораке, а точкићи на колицима се стално okreћу на исти начин. Први корак био је риговање (*eng. rigging*) објеката и повезивање *layer*-а са костима скелета. Први и последњи генерисани *keyframe* морају да имају идентичне вредности, како би се анимација одвијала неометано. На последњу групу *keyframe*-ова примењена је *Cycle* интерполација. Појављује се плава повратна стрелица, која сугерише смер у ком се понавља анимација [15].



Слика 4. *Cycle* интерполација [15]



Слика 5. *Cycle* интерполација [15]



Слика 6. *Cycle* интерполација [15]

Elastic интерполација користи се за стварање анимација које имају ефекат еластичног или "резистентног" кретања. *Elastic* интерполација симулира начин на који се објекти понашају када се

растегну и врате у свој првобитни облик, као да су направљени од еластичног материјала. Овај тип интерполације карактерише брзо започињање покрета, који се успорава до крајње позиције. У крајњој тачки објекат може накратко одскочити мало изван те позиције, али се потом враћа [10,14]. У склопу анимације одабрана је акција када голуб кљуцне деду, и на њу је примењена *Elastic* интерполација. Постигнут је ефекат при ком се голубова глава брзо враћа у почетни положај, али се истовремено енергично растеже како би голуб кљуцнуо деду (слика 7) [15].



Слика 7. *Elastic* интерполација [15]

Bounce интерполација користи се за креирање ефекта одскока током анимације. Она додаје реалистичан осећај "треперења" или кратких, брзих покрета када објекат дође до своје крајње позиције. Такође, ова интерполација генерише занимљив однос објекта са површином о коју се одбија, односно са којом интерагује. У дијалогу *Bounce* интерполације могуће је дефинисати број и висину одскока [13]. У склопу анимације за овај тип интерполације одабрана су акције у којима објекти интерагују са подлогом: паклица цигарете и штап падају на под. На тај начин се стиче бољи утисак о томе од каквог су материјала направљени објекти: паклица је лакша од штапа, с тога брже и лакше одскаче од подлоге, док је штап већих димензија и тежи, с тога он не одскаче превисоко и предалеко од подлоге (слике 8 и 9) [15].



Слика 8. *Bounce* интерполација [15]



Слика 9. *Bounce* интерполација [15]

4. ЗАКЉУЧАК

Како би аниматори и видео креатори имали већу контролу над крајњим резултатом анимирања, неопходно је да разумеју процес интерполације. Са све већим развојем модерне технологије, и експанзијом видео и анимираног садржаја данас, интерполација поприма нове облике и добија још већи значај. Вештачка интелигенција допринеће квалитету интерполације у наредним годинама.

5. ЛИТЕРАТУРА

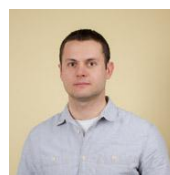
- [1] "What is keyframing", Adobe. [Online]. Доступно: <https://www.adobe.com/creativecloud/video/discover/keyframing.html> [Приступљено: 1.9.2024.]
- [2] "Interpolation, easing and smoothing", Webflow University. [Online]. Доступно: <https://university.webflow.com/lesson/interpolationeasing-and-smoothing?topics=layout-design> [Приступљено: 1.9.2024.]
- [3] "Keyframe Interpolation", Brush Ninja. Доступно: <https://brush.ninja/glossary/animation/keyframeinterpolation/> [Приступљено: 1.9.2024.]
- [4] М. Теклић, "2Д анимација у покретној графици", дипломски рад, Свеучилиште у Загребу, , 2011. [Online]. Доступно: <https://core.ac.uk/download/pdf/53878812.pdf>, [Приступљено: 1.9.2024.]
- [5] "Comprehensive Guide to Interpolation Animation for Animators", Business of animation. [Online]. Доступно: <https://businessofanimation.com/a-thorough-guide-to-interpolationanimationforanimators/#:~:text=In%20this%20blog,%20we%20explored%20what%20interpolation%20animation%20is,%20how> [Приступљено: 1.9.2024.]
- [6] "Interpolation", Cascadeur. [Online]. Доступно: https://cascadeur.com/help/tools/timeline_tools/interpolation#:~:text=Interpolation%20is%20a%20method%20of%20calculating%20character%20poses%20in%20the [Приступљено: 1.9.2024.]
- [7] М. Heckel, "Cubic Bézier: from math to motion", blog.maximeheckel.com. [Online]. Доступно: <https://blog.maximeheckel.com/posts/cubic-bezier-from-math-to-motion/> [Приступљено: 2.9.2024.]
- [8] V. S. Suresh, "Animation Principles in UI Design: Understanding Easing", Medium. [Online]. Доступно: <https://medium.com/motion-in-interaction/animation-principlesinuidesignunderstandingeasingbea05243fe3#:~:text=Easein%20:%20when%20the> [Приступљено: 2.9.2024.]
- [9] "Top 12 AI Frame Interpolation Tools to Enhance Video Smoothness on Windows, Mac, & Online", UniFab. [Online]. Доступно: <https://unifab.ai/resource/ai-frame-interpolation-tools> [Приступљено: 2.9.2024.]
- [10] Moho Animation Software "Moho Quick Tips - "Elastic Interpolation", YouTube, Dec. 12, 2022. [Online] <https://www.youtube.com/watch?v=RBguDoa1Ln8> [Приступљено: 27.9.2024.]
- [11] McCoy Buck, "Moho Animation Tutorial : Keyframe Interpolation & Motion Graph", YouTube. June 6, 2024. [Online]. Доступно: <https://www.youtube.com/watch?v=JGBmEWPqSbc> [Приступљено: 27.9.2024.]

- [12] Moho Animation Software "15. Animation Cycles" YouTube. Sept 14, 2023. [Online]. Доступно: <https://www.youtube.com/watch?v=Tzv4Wi-JqsA&t=5sRBguDoa1Ln8> [Приступљено: 3.10.2024.]
- [13] Moho Animation Software "Anime Studio 10 - Pro - Bounce, Elastic and Stagger Interpolation - Tutorial" YouTube. Feb 28, 2014. [Online]. Доступно: <https://www.youtube.com/watch?v=quPPBMJFsms&t=15s> [Приступљено: 3.10.2024.]
- [14] Victor Paredes – Tazatriste "Elastic interpolation - Moho Tutorial - Part 1", YouTube. Sept 17, 2020. [Online]. Доступно: <https://www.youtube.com/watch?v=Tln61IaTzMc&t=13s>, [Приступљено: 3.10.2024.]
- [15] Т. Баварчић, „Дизајн и анимација карактера за 2Д краткометражни анимирани филм“, мастер рад, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад, Србија, 2024.

Кратка биографија:



Тијана Баварчић рођена је у Сенти 2000. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Графичког инжењерства и дизајна одбранила је 2024. године. Контакт: bavarcictijana@gmail.com



Бојан Бањанин рођен је у Новом Саду, 1986. године. Гимназију „Јован Јовановић Змај“ у Новом Саду завршава 2005. године, након које уписује Факултет техничких наука, одсек Графичко инжењерство и дизајн на Универзитету у Новом Саду. 2010. године брани Мастер рад из предмета Писмо и типографија на Факултету техничких наука. Контакт: bojanb@uns.ac.rs

ANALIZA UTICAJA BOJE NA IZBOR PROIZVODA ORGANSKE KOZMETIKE PRI ONLINE KUPOVINI**ANALYSIS OF THE IMPACT OF COLOR ON THE SELECTION OF ORGANIC COSMETICS PRODUCTS IN ONLINE PURCHASE**

Sanja Cvetojević, Sandra Dedijer, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN**2. BOJA KAO ELEMENT VIZUELNOG DIZAJNA**

Kratak sadržaj – Tema ovog rada je analiza uticaja boje na korisnike u kontekstu online prodaje organske kozmetike. Cilj istraživanja je identifikacija najefikasnijih boja koje privlače pažnju i podstiču angažovanje i kupovinu proizvoda organske kozmetike. Pažnja i fokus učesnika ispitivanja procenjavani su primenom tehnologije praćenja pokreta očiju dok su posmatrali proizvode prikazane u različitim bojama na ekranima. Pored tehnologije praćenja pokreta očiju, korišćeni su i dodatni metodološki alati, uključujući ankete i usmene odgovore, kako bi se dobila sveobuhvatna slika uticaja boje na ponašanje potrošača.

Ključne reči: *Uticaj boje, Online prodaja, Organska kozmetika*

Abstract – *This study explores the impact of colour on users in the realm of online sales of organic cosmetics. The objective of the research is to identify the most effective colours that capture attention and drive engagement and purchasing behaviour for organic cosmetic products. Participants' attention and focus were assessed through the use of eye-tracking technology while they observed products displayed in various colours on screens. Complementary methodological tools, including surveys and verbal feedback, were employed to gain a comprehensive insight into the influence of colour on consumer behaviour.*

Keywords: *Impact of colour, Online sales, Organic cosmetics*

1. UVOD

U organskoj kozmetičkoj industriji, boje igraju ključnu ulogu u privlačenju pažnje i oblikovanju iskustva potrošača. U e-prodavicama, gde kupci ne mogu fizički isprobati proizvode, boje, kao jedan od ključnih parametara postaju presudne za prenošenje važnih informacija i stvaranje snažnog prvog utiska. Njihova moć leži u sposobnosti da izraze čistoću, prirodnost i emocije, što je od izuzetnog značaja za proizvode povezane sa zdravljem i prirodnom lepotom. Stoga je pažljiv odabir svake boje neophodan kako bi se kod potrošača izazvale željene emocionalne reakcije.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Sandra Dedijer, red. prof.

Čovek je vizuelno biće koje svet doživljava kroz boje i oblike, što je duboko ukorenjeno u ljudskoj prirodi. Svetlost koja putem očiju dolazi do mozga pretvara se u vizuelne signale koji pomažu pri donošenju brzih i intuitivnih odluka. U ovom procesu, boje igraju ključnu ulogu u načinu na koji tumačimo svet oko nas. Kao jedan od osnovnih elemenata vizuelnog dizajna, boja ima moć da izazove snažne asocijacije i duboko utiče na naš emotivni i kognitivni odgovor. Ona može da inspiriše, umiri ili podstakne na akciju. Njena sposobnost da komunicira sa našim unutrašnjim svetom i izazove različite emocionalne reakcije stvara bogatu mrežu asocijacija i značenja, čime igra presudnu ulogu u oblikovanju našeg iskustva i percepcije [1].

Različiti kulturni i socijalni konteksti dodatno obogaćuju ovu komunikaciju. Asocijacije i značenja boja variraju širom sveta, u zavisnosti od istorijskih, socijalnih i kulturnih faktora. Na primer, boje se različito doživljavaju među muškarcima i ženama, kao i među različitim starosnim kategorijama, što se posebno ogleda u tome kako odrasli i deca reaguju na određene boje [2, 3]. Sve ove varijacije ukazuju na kompleksnost korišćenja boje u dizajnu, ali istovremeno naglašavaju njen potencijal za stvaranje snažnih vizuelnih i emocionalnih doživljaja, prilagođenih različitim korisnicima i njihovim jedinstvenim iskustvima.

3. ULOGA BOJE U DIZAJNU AMBALAŽE ORGANSKE KOZMETIKE

Dizajn ambalaže, kao ključni deo brenda, igra presudnu ulogu u procesu kupovine, pri čemu boja značajno utiče na odluke potrošača, naročito kada su u žurbi. Da bi dizajn ambalaže bio efikasan, neophodno je da bude informativan, praktičan i privlačan. U tom kontekstu, boja kao ključni faktor ne samo da privlači pažnju, već ujedno duboko utiče na misli, osećanja i ponašanje potrošača omogućavajući im da lakše zapamte proizvod i povežu ga sa određenim osećajem ili iskustvom. Na ovaj način oblikuje se prvi utisak koji u mnogome utiče na konačnu odluku o kupovini [4].

U slučaju ambalaže organskih kozmetičkih proizvoda, boja se koristi ne samo da privuče pažnju, već i da prenese specifične vrednosti i karakteristike proizvoda. Izbor boja je pažljivo promišljen kako bi odražavao prirodnost, čistoću i ekološku svest proizvoda. Zelene i smeđe nijanse često sugerišu prirodne i organski uzgojene sastojke, dok

bež i krem boje mogu evocirati osećaj jednostavnosti i sofisticiranosti. Boje na ambalaži organskih proizvoda takođe omogućavaju potrošačima da prepoznaju proizvode koji su u skladu sa njihovim vrednostima i preferencijama prema ekologiji. Time se poboljšava vizuelni identitet proizvoda, ali i ojačava njegova tržišna pozicija kao održivog i prirodnog izbora [4].

Dakle, jasno je da pravilna upotreba boja može diferencirati proizvod u konkurentnom okruženju, čineći ga prepoznatljivim i lako uočljivim među sličnim proizvodima. U kombinaciji sa drugim dizajnerskim elementima, kao što su tipografija i ilustracije/fotografije, boje mogu dodatno pojačati poruku brenda i poboljšati korisničko iskustvo.

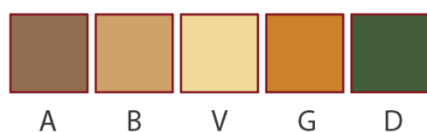
4. BOJA AMBALAŽE U ONLAJN PROMOCIJI PROIZVODA PUTEM E-PRODAVNICA

Boja ambalaže proizvoda igra ključnu ulogu u digitalnoj promociji, posebno u kontekstu online prodavnica i njihovih kataloga, koji su centralno sredstvo komunikacije između potrošača i proizvoda. U svetu gde potrošači donose odluke o kupovini na osnovu vizuelnih utisaka, pravilno odabrana boja ambalaže može biti presudna za privlačenje pažnje i isticanje proizvoda među mnoštvom drugih. Kako su online katalogi često prva tačka kontakta sa proizvodom, važno je da boje ambalaže budu pažljivo odabrane kako bi odmah privukle korisnike. U online katalogima, gde se proizvodi prikazuju u vidu manjih slika, boja postaje jedan od najsnažnijih vizuelnih elemenata koji može privući korisnika i podstaći ga da istraži proizvod dalje [5]. Organizacija proizvoda unutar kataloga, u kombinaciji sa doslednom upotrebom boja koje odražavaju vrednosti brenda, dodatno jača vizuelni identitet proizvoda i povećava šanse da bude primećen i zapamćen. Ovo omogućava proizvodima da se istaknu na pretrpanim „policama“ digitalnih prodavnica i pridobiju pažnju kupaca, što je ključno za uspeh u konkurentnom okruženju.

5. EKSPERIMENTALNI DEO

Glavni cilj eksperimenta bio je da se ispita prepoznatljivost i percepcija boja povezanih sa organskom kozmetikom, kao i da se utvrdi njihova uloga u donošenju odluka potrošača. Tok ispitivanja bio je podeljen u tri ključne faze, koje su opisane u nastavku.

Prva faza je obuhvatila istraživanja tržišta i kreiranje u svrhu ispitivanja organskog kozmetičkog brenda pod nazivom "Avelis". Kao proizvod predstavnik organske kozmetičke industrije odabrana je krema za ruke. U cilju ispitivanja prepoznatljivosti organske kozmetike u masi kozmetičkih proizvoda, odabrane su boje koje se preporučuju za kozmetičke proizvode, a koje su kasnije definisane kao referentni stimulusi (slika 1). Takođe su definisane i boje generalno preporučene za kozmetičku industriju (slika 2).



Slika 1. Prikaz 5 referentnih stimulusa



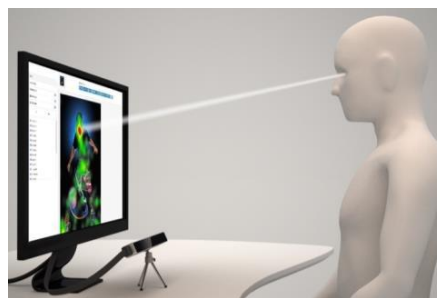
Slika 2. Prikaz 14 non-referentnih stimulusa

Druga faza obuhvatala je kreiranje pet referentnih i četrnaest non-referentnih stimulusa koristeći prethodno pomenute preporučene boje koje se vezuju za proizvode organske kozmetike i kozmetike uopšte. Kreirano je pet grupa stimulusa, u svakoj grupi od ukupno petnaest stimulusa nalazi se jedan referentni (primer jedne grupe stimulusa dat je na slici 3).



Slika 3. Prikaz jedne grupe stimulusa

Treća faza je podrazumevala pripremu stimulusa i opreme za sprovođenje eksperimenta. Na početku, svaki ispitanik je postavljen na odgovarajuću udaljenost ispred EIZO ColorEdge CG241W monitora, kako bi Gazepoint GP3 eye-tracker uređaj (postavljen ispred monitora) mogao da detektuje njegove zenice tokom posmatranja sadržaja. Prikaz pozicija monitora, eye-trackera i ispitanika dat je na slici 4.



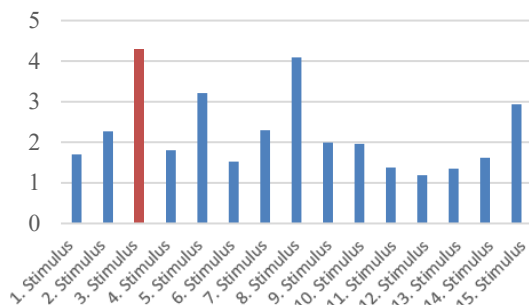
Slika 4. Položaj ispitanika naspram postavke monitora i eye-tracker-a

Nakon toga, za kalibraciju, kratak test i dalje ispitivanje korišćen je softver Gazepoint Control, koji je omogućio uspostavljanje komunikacije sa GP3 uređajem za praćenje pogleda i kasniju analizu dobijenih rezultata. Svaka grupa stimulusa prikazana je u trajanju od deset sekundi, pri čemu je praćenjem pogleda utvrđen broj fiksacija i broj povratnih pogleda ispitanika.

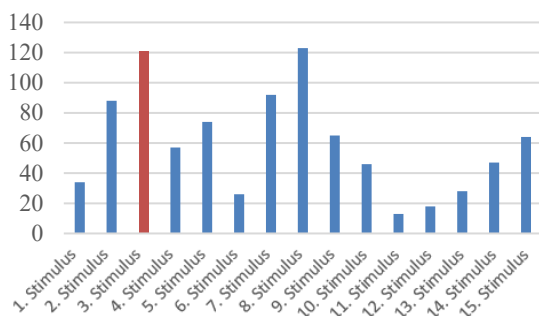
5.1. Predstavljanje i analiza rezultata

Istraživanje je obuhvatilo 180 učesnika starosne kategorije između 20 i 27 godina, pri čemu je udeo ženskih ispitanika bio značajno veći (130) u odnosu na muške ispitanike (50).

Kada je reč o analizi prikupljenih rezultata dobijenih eye-tracker ispitivanjem uočava se da je stimulus V (na slici označen kao stimulus sa brojem 3) stimulus sa najboljim rezultatima u pogledu broja fiksacija (slika 5) gde se odmah posle njega značajno izdvaja stimulus sa svetlozelenim tonom (stimulus 8), koji se u slučaju broja povratnih pogleda (slika 6) nalazi na samom vrhu, dok je tek nešto manji rezultat ostvario referentni stimulus V.

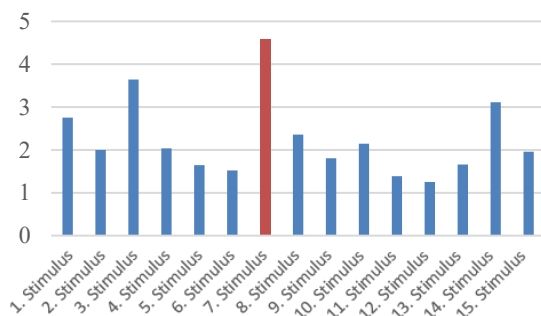


Slika 5. Grafički prikaz broja fiksacija po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom V

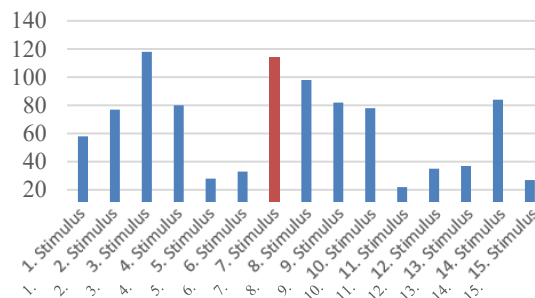


Slika 6. Grafički prikaz broja povratnih pogleda po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom V

Naredni stimulus koji beleži veoma dobre rezultate na ispitivanju je stimulus B odnosno stimulus pod brojem 7 na slikama 7 i 8. Na slici 7. primećuje se da referentni stimulus jeste stimulus sa najvećim brojem fiksacija, dok je u slučaju broja povratnih pogleda on i ovaj put odmah iza stimulusa svetlo zelenog tona (stimulus 3).

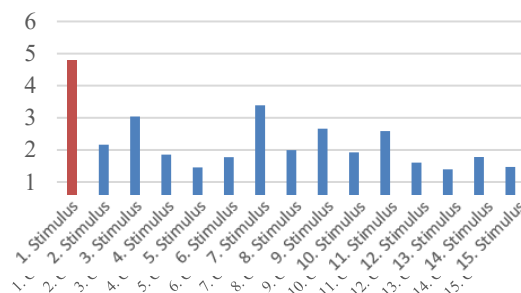


Slika 7. Grafički prikaz broja fiksacija po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom B

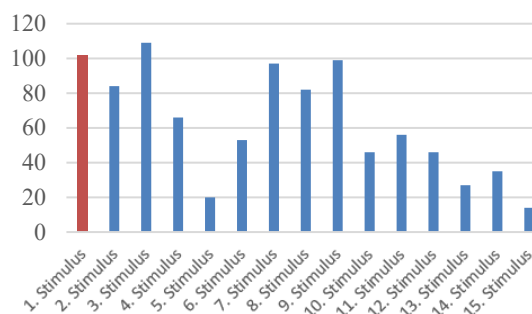


Slika 8. Grafički prikaz broja povratnih pogleda po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom B

Stimulus D (stimulus 1 na slikama 9 i 10) pokazuje dobre rezultate posebno u pogledu broja fiksacija (slika 9.) gde se ubedljivo izdvaja od ostalih stimulusa. Po pitanju broja povratnih pogleda (slika 10.) takođe beleži dobre rezultate i nalazi se na drugom mestu odmah posle stimulusa svetlo zelenog tona. Zapaža se i da stimulusi svetlo plavog (stimulus 9) i žućkasto-narandžastog tona (stimulus 7) postižu prilično visok broj povratnih pogleda, tek nešto manje od referentnog stimulusa D.

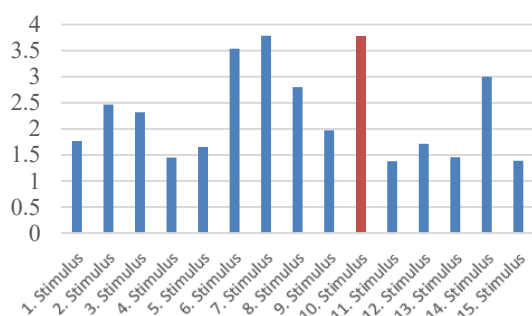


Slika 9. Grafički prikaz broja fiksacija po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom D

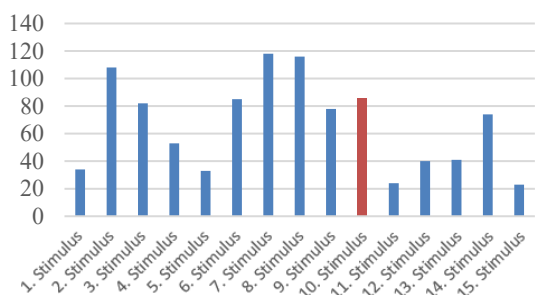


Slika 10. Grafički prikaz broja povratnih pogleda po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom D

Nešto slabije rezultate beleži stimulus A (stimulus 10 na slikama 7 i 8). U slučaju broja fiksacija (slika 11) uočava se prisutna neodlučnost, odnosno skoro podjednak broj fiksacija koji je gotovo ravnomerno raspoređen na referentni stimulus A i stimulus sa svetlo plavim tonom (stimulus 7). Kada je reč o broju povratnih pogleda (slika 12) stimulus A nalazi se tek na petom mestu. Znatno bolje rezultate postigli su stimulusi svetlih i tamnih nijansi plavih i zelenih tonova. kao i ljubičastih tonova.

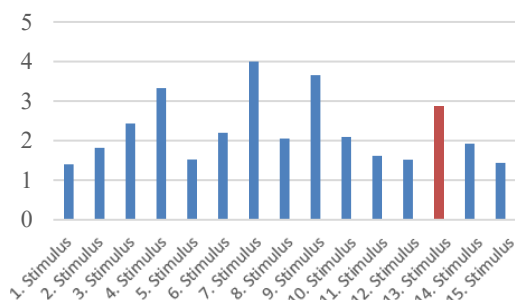


Slika 11. Grafički prikaz broja fiksacija po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom A

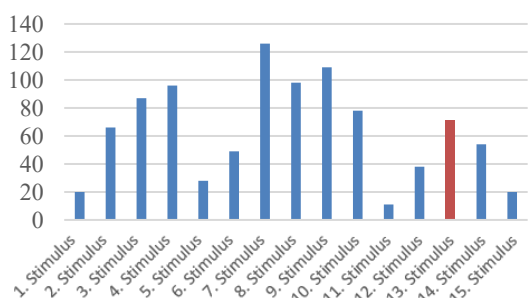


Slika 12. Grafički prikaz broja povratnih pogleda po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom A

Najslabiji rezultati prisutni su kod stimulusa G (stimulus na slikama 9 i 10) gde se po pitanju broja fiksacija (slika 13) stimulus nalazi na četvrtoj poziciji, posle stimulusa svetlo zelenog i plavog, i žućkasto-narandžastog tona. Još slabiji rezultat beleži se u slučaju broja povratnih pogleda (slika 14) gde zauzima tek sedmo mesto. Ispred njega su stimulusi sa svetlo i tamno plavim i zelenim kao i ljubičastim i žućkasto-narandžastim tonovima.



Slika 13. Grafički prikaz broja fiksacija po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom G



Slika 14. Grafički prikaz broja povratnih pogleda po stimulusima u grupi sa referentnim stimulusom G

6. ZAKLJUČAK

Prelazak trgovine na e-prodavnice pružio je raznovrsne mogućnosti u dizajniranju vizuelnog identiteta proizvoda, a boja kao ključni element postala je jedan od najmoćnijih alata za privlačenje pažnje potrošača. Značaj koji boja ima prevazilazi isključivo estetsku komponentu, utičući direktno na percepciju proizvoda i verovatnoću da će potrošači izabrati upravo taj proizvod. Na taj način, boja ambalaže postaje neizostavan deo uspešne strategije digitalne promocije, osiguravajući da proizvod ostavi trajan i pozitivan utisak na potrošače.

Stimulusi V i B sa svetložutim i braon tonom su se pokazali kao najefikasniji u privlačenju pažnje i zadržavanju interesovanja, što pored potvrđivanja povezanosti ovih boja sa organskom kozmetikom sugerise i na to da svetliji tonovi mogu biti uspešniji kada je reč o online prodaji organske kozmetike. Činjenica da su se ovi tonovi istakli po broju fiksacija i povratnih pogleda, ukazuje na njihovu sposobnost isticanja u pretrpanim online katalogima. Stimulus D sa tamnijim tonom, veoma visokim brojem fiksacija i povratnih pogleda dokazuje povezanost zelene boje sa organskom kozmetikom, dok stimulus A, tamno braon boje i stimulus G sa pretežno narandžastim tonom pokazuju slabije rezultate. Iako su u pitanju topli tonovi, njihov uticaj na ispitanike bio je manji u poređenju sa svetlijim tonovima iz čega se da zaključiti da dati tonovi koji su pri tom tamniji nisu idealni za privlačenje pažnje proizvoda organske kozmetike u online okruženju.

7. LITERATURA

- [1] O. Demirbilek and B. Sener, "Product design, semantics and emotional response," *Ergonomics*, Vol. 46, No. 13/14, pp. 1346–1360, October 2003, doi: 10.1080/00140130310001610874.
- [2] M. Casas and J. Chinoperekweyi, "Color psychology and Its Influence on Consumer Buying Behavior: A case of apparel products," *Saudi J. Bus. Manag. Stud.*, Vol. 4, No. 5, pp. 441–456, May, 2019, doi: 10.21276/sjbms.2019.4.5.8.
- [3] L. Ellis and C. Ficek, "Color preferences according to gender and sexual orientation," *Pers. Individ. Differ.*, Vol. 31, No. 8, pp. 1375–1379, December, 2001, doi: 10.1016/S0191-8869(00)00231-2.
- [4] B. Mohebbi, "The art of packaging: an investigation into the role of color in packaging, marketing, and branding," *Int. J. Organ. Leadersh.*, Vol. 3, No. 1, pp. 92–102, December 2014, doi: 10.33844/ijol.2014.60248.
- [5] Y. Purwati, "Standard features of e-commerce user interface for the web," *J. Arts Sci. Commer.*, Vol. 2, No. 3, pp. 77–84, Jul. 2011.

Kratka biografija:

Sanja Cvetojević rođena je u Novom Sadu 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičko inženjerstvo i dizajn odbranila je 2024. godine. kontakt: sanja.c@uns.ac.rs

Dr Sandra Dedijer, redovni profesor. kontakt: dedijer@uns.ac.rs