



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке – зборници

Година: XL

Број: 9/2025

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“

Година: XL Свеска: 9

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

Часопис је покренут давне 1960. године, одмах по оснивању Машинског факултета у Новом Саду, као „Зборник радова Машинског факултета“, а први број је одштампан 1965. године. Након осам публикованих бројева у шест година, пратећи прерастање Машинског факултета у Факултет техничких наука, часопис мења назив у „Зборник радова Факултета техничких наука“ и 1974. године излази као број 9 (VII година). У том периоду у часопису се објављују научни и стручни радови, резултати истраживања професора, сарадника и студената ФТН-а, али и аутора ван ФТН-а, тако да часопис постаје значајно место презентације најновијих научних резултата и достигнућа. Од броја 17 (1986. год.), часопис почиње да излази искључиво на енглеском језику и добија поднаслов *Publications of the School of Engineering*.

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 9 објављени су радови из области грађевинског инжењерства, саобраћајног инжењерства, графичког инжењерства и дизајна, инжењерства заштите животне средине и заштите на раду, мехатронике, геодетског инжењерства, управљања ризиком од катастрофалних догађаја и пожара, инжењерства информационих система, биомедицинског инжењерства и чистих енергетских технологија.

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

Грађевинско инжењерство

Милош Спасић	
АНАЛИЗА ТРОШКОВА ЗА ИЗГРАДЊУ ХЛАДЊАЧА	793–795
Драгослав Гагић	
ОДРЕЂИВАЊЕ ВРЕМЕНА ПОПЛОЧАВАЊА КАМЕНОМ КОЦКОМ И ВИБРОПРЕСОВАНИМ БЕТОНСКИМ ПЛОЧАМА МЕРЕЊЕМ НА ГРАДИЛИШТУ	796–798
Mladen Marković	
VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA OPTIMALNOG REŠENJA HIDROIZOLACIONOG SISTEMA ZA PODZEMNE ETAŽE OBJEKTA	799–802
Дарија Гаврић	
ИНТЕГРАЦИЈА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ	803–806
Александар Николић	
ПРИМЕНА КАМЕНА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ	807–810
Srđan Bakić	
NELINEARNA STATIČKA ANALIZA ZIDANE ZGRADE P+4 U NOVOM SADU	811–814
David Radojević	
NELINEARNA STATIČKA ANALIZA ZIDANE ZGRADE Po+P+4 U VALJEVU	815–818
Aleksandra Tadić	
DIJAGNOSTIKA STANJA I PREDLOG MERA SANACIJE ZATVORENOG BAZENA U BAČKOJ TOPOLI	819–822
Вања Латковић, Слободан Шупић	
ПРОЦЕНА СТАЊА И САНАЦИЈА АБ КОНСТРУКЦИЈЕ ВИШЕСПРАТНЕ ПОСЛОВНО-СТАМБЕНЕ ЗГРАДЕ У НОВОМ САДУ	823–826
Boban Županjac, Ljubomir Budinski	
МАТЕМАТИЧКО MODELIRANJE HIDRAULIČKOG UDARA U POTISNOM CEVOVODU KANALIZACIONOG SISTEMA PRIMENOM SOFTVERA AFT IMPULSE	827–830

Саобраћајно инжењерство

Isidora Zaharić	
UNAPREĐENJE PROCESA KOMISIONIRANJA U MALOPRODAJNOM DISTRIBUTIVNOM SKLADIŠTU	831–834
Дејана Аничкић	
ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ И СИГНАЛНИХ ИНСТАЛАЦИЈА НА ПОДРУЧЈУ НАСЕЉА ЖЕЛЕЗНИК	835–838
Tijana Vujinović	
UNAPREĐENJE KOMISIONIRANJA UPOTREBOM SORTIRNIH ROBOTA	839–842
Rada Ristić	
OMNIKANALSKI MALOPRODAJNI LANCI SNABDJEVANJA	843–846
Dejana Milanović	
PLANIRANJE POTREBA ZA MATERIJALIMA NA OSNOVU POTRAŽNJE	847–850

Графичко инжењерство и дизајн

Antonia Tilinger

**UPOTREBA VORONOI TESALACIJE ZA DEFINISANJE
FUNKCIONALNIH ELEMENATA MODELA**

919–922

Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду

Jelena Milović

**RAD NA VISINI I ANALIZA POVREDA NA RADU NASTALIH NA
GRADILIŠTIMA U PERIODU OD 2013. DO 2017. GODINE**

851–854

Ивана Миливојевић, Бојан Батинић

**АНАЛИЗА УПРАВЉАЊА РАЗЛИЧИТИМ ТОКОВИМА
МЕДИЦИНСКОГ ОТПАДА У ОПШТОЈ БОЛНИЦИ "БОРБЕ
ЈОАНОВИЋ" – ЗРЕЊАНИН**

855–858

Рајко Марковић, Соња Дмитрашиновић, Јелена Радонић

**ПРОЦЕНА НИВОА ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА PM10 ЧЕСТИЦАМА У
УРБАНОМ ПОДРУЧЈУ НОВОГ САДА**

859–862

Милан Петковић

**ПРОЦЕНА ПОЖАРНОГ РИЗИКА ВИСОКОГ СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА У
НОВОМ САДУ**

863–866

Стефан Пашалић, Немања Сремчев

**АНАЛИЗА ЕРГОНОМСКИХ УСЛОВА ГРАДСКЕ УПРАВЕ ГРАДА
ДОБОЈ**

867–870

Мехатроника

Константин Савић

**СОЛАРНА СТАНИЦА СА МОГУЋНОШЋУ БЕЛЕЖЕЊА И
ПРИКАЗИВАЊА ПОДАТАКА**

871–874

Дарко Бабијановић

**РАЗВОЈ УРЕЂАЈА ВИСОКЕ ТАЧНОСТИ У ФУНКЦИЈИ АКТИВНОГ
ОПТЕРЕЂЕЊА ПРИ ВЕЛИКИМ СТРУЈАМА, УЗ ЕЛИМИНИСАЊЕ
УТИЦАЈА "GND" ПЕТЉЕ НА ТЕСТНИ СИГНАЛ**

875–878

Срђан Стевановић, Гордана Остојић

**УПРАВЉАЊЕ РАДОМ У ПОЈЕДИНИМ ДЕЛОВИМА ХОТЕЛСКОГ
ОБЈЕКТА**

879–883

Геодетско инжењерство

Aleksandar Lang

**RAZVOJ GEOPORTALA ZA PRIJAVU ŠTETE NAKON VREMENSKIH
NEPOGODA**

884–887

Stefan Nikolić

RAZVOJ GEOPORTALA ZEMLJIŠTA U ANGULAR OKRUŽENJU

888–890

Управљање ризиком од катастрофалних догађаја и пожара

Davor Pantić

**ANALIZA ZONA OPASNOSTI SKLADIŠTA ZA ZAPALJIVE I OPASNE
MATERIJE** 891–893

Ивана Јелачић

АНАЛИЗА РИЗИКА ЗА РАДНА МЕСТА СА ПОВЕЋАНИМ РИЗИКОМ 894–897

Алекса Милошевић, Слободан Шупић

**ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ЗЕМЉОТРЕСА ПОСЛОВНОГ ОБЈЕКТА
„ДУНАВ ЦЕНТАР“ У ЗРЕЊАНИНУ** 898–902

Далибор Стојилковић, Слободан Шупић

**ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ПОЖАРА КЛИНИЧКОГ ЦЕНТРА ВОЈВОДИНЕ
НА МИШЕЛУКУ** 903–906

Инжењерство информационих система

Selena Delčev

**UTICAJ INTEGRACIJE E-FAKTURA SA ERP SISTEMOM NA PRIVREDU
REPUBLIKE SRBIJE** 907–910

Биомедицинско инжењерство

Дуња Павловић

**ЕСТИМАЦИЈА НИВОА СТРЕСА ЧОВЕКА ПРИМЕНОМ МЕТОДА
МАШИНСКОГ УЧЕЊА** 911–914

Николина Томашевић

**МЕТОДЕ И МЕТРИКЕ ЗА ПРАЋЕЊЕ И УНАПРЕЂЕЊЕ КВАЛИТЕТА
MRI ДИЈАГНОСТИКЕ** 915–918

Чисте енергетске технологије

Milana Marković, Aleksandar Anđelković

**DOPRINOS, PREDNOSTI I NEDOSTACI PRI IMPLEMENTACIJI BIM
SOFTVERA U INŽENJERSKU PRAKSU** 923–926

АНАЛИЗА ТРОШКОВА ЗА ИЗГРАДЊУ ХЛАДЊАЧА**COST ANALYSIS FOR THE CONSTRUCTION OF COLD STORAGE FACILITIES**

Милош Спасић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Предмет овог рада јесте анализа цене и трошкова за изградњу и реконструкцију осам хладњача у разним местима у Србији. У овом раду су анализирани сви параметри за ову врсту пројекта.

Кључне речи: трошкови, предмер и предрачун, јединична и укупна цена

Abstract - The subject of this master thesis is the analysis of prices and costs for the construction and reconstruction of eight cold storage facilities in various places in Serbia. In this paper, all parameters for this type of project are analyzed.

Keywords: costs, bill of quantities, unit and total price

1. УВОД

Пројекат изградње хладњача у Нишу део је идејног решења који се састоји од два међусобно повезана објекта, објекат је категорисан као магацин и хладњача, такође предвиђа се изградња соларних панела на крову хладњаче. Постоје две коморе минусна и плусна.

Следећа хладњача налази се у селу Блазнава код Тополе. Приступ парцели је преко некатегорисаног пута. Објекат је намењен за складиштење воћа. У склопу хладњача налазе се шест плусних комора за складиштење воћа које су повезане ходником.

Хладњача у Лебану нема функцију прераде воћа већ у потпуности служи и има функцију расхладног складишта са просторијама различитог температурног режима.

Хладњача у Панчеву површине од скоро 3000м², улаз у објекту је са сопствене парцеле. Хала има два улаза за запослене у административни део и улаз број 3 за хладњачу.

У Ариљу се постојећи магацин реконструише и мења у објекат хладњаче, врши се уграђивање адекватне расхладне опреме, а постојећа надстрешница се затвара. Основа намена је замрзавање воћа и поврћа на одређеном температурном режиму.

Објекат у насељу Доња Краварица је приземни, а основни габарит је правоугаоног облика, објекат је по својој намени хладњача, а пројектована је једна минусна комора.

Хладњача у Шајкашу намењена је за чување воћа и поврћа спратности П+1. Објекат је предвиђен на

парцели на којој већ постоје други објекти са пратећим садржајем за раднике.

Што се тиче хладњаче у Оџацима она има две целине једну за прераду шљиве и једну за прераду вишње. Сав посао се ради у минусном делу коморе од -15°C.

2. ХЛАДЊАЧЕ

Хладњаче се могу поделити као зграде односно као серија или скуп зграда или делова намењених за складиштење одређене робе у условима тачно одређених режима температуре и релативне влажности.

Генерална концепција једне хладњаче одређена је јасним критеријумима својственим свакој хладњачи, као што су капацитет складиштења, могућност пријема и испорука робе и унутрашње одржавање. Њена сама функционалност је у томе што има могућност да одржава температуре нижим од оних које су напољу.

3. ЕЛЕМЕНТИ ХЛАДЊАЧА**3.1 Хладњача у Нишу**

Објекат је предвиђен за складиштење различите врсте робе у складу са потребама инвеститора. Међуспратна к-ја је крстасто армирана дебљине $d = 20\text{cm}$. Постоје две коморе минусна која иде до -20°C, и плусна комора која иде од +4°C до +8°C.

3.2 Хладњача у Тополи

Основни носећи елементи к-је су челични рамови које формирају стубови и кровни решеткасти носачи. Рамови су пројектовани од хладноваљаних профила ознаке квалитета S235. Веза између стубова и кровних решетки остварена је вијцима, а везе између елемената кровне решетке су заварене.

3.3 Хладњача у Лебану

Објекат је фундиран на темељима самцима и са изведеним ободним гредама. Постојећи конструктивни склоп се у потпуности задржава сем металне к-је. Задржава се постојећа фасада материјализована у лиму.

3.4 Хладњача у Панчеву

Цео објекат је пројектован у челичној к-ји. Кровна к-ја се састоји од челичних решетки. Челична к-ја унутрашњих стубова је од челичних профила S235.

3.5 Хладњача у Ариљу

Постојећи објекат П+0 за пољопривредне производе се реконструише и мења намену у објекат хладњаче, уграђује се адекватна расхладна опрема. Основна намена овог објекта је складиштење воћа односно

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Владимир Мученски.

поврћа на одређеном температурном режиму. У просторији ће бити температура од -20°C до +5°C.

3.6 Хладњача у Доњој Краварици

Објекат је пројектован као скелетни са носећим челичним стубовима и гредама. Темљење објекта је на истој дубини на темељима самцима од армираног бетона који су повезани темељним гредама. Кровна к-ја је од челичних решетки преко којих су постављене челичне рожњаче.

3.7 Хладњача у Шајкашу

Главни носачи се ослањају на НЕА и НЕВ стубове на средњем раму галерије. Главни кровни носач је осмишљен као решеткаста к-ја у којима се зглобно ослањају рожњаче. Рожњаче су зглобно везане за решеткасте носаче у чворовима решетки.

3.8 Хладњача у Оџацима

Објекат је подељен на две целине то су део за прераду шљиве и део за прераду вишње. Објекат се гради у две фазе прво део објекта који служи за прераду шљиве, а потом објекат за прераду вишње. Објекат се фундира на АБ темељним тракама и стопама. Међуспратна к-је је АБ плоча.

4. ТРОШКОВИ ИЗГРАДЊЕ

4.1 Хладњача у Нишу

Према претходној студији оправданости за изградњу хладњаче у Нишу, укупна цена инвестиције износи 439 894,32 Е са урачунатим ПДВ – ом (51 559 617,3 РСД), док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 351 915,46 Е (41 247 694,3 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да 83.85% трошкова чине грађевински радови.

4.2 Хладњача у Тополи

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у Тополи укупна инвестиција износи 214 321, 57 Е (25 120 438,33 РСД) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 171 457,26 Е (20 096 350,66 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да 59,97% трошкова чине грађевински радови.

4.3 Хладњача у Лебану

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у Лебану укупна инвестиција износи 909 066,94 Е (106 550 917,9 РСД) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 727 253,55 Е (85 240 734,07 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да 78.36% чине грађевински радови.

4.4 Хладњача у Панчеву

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у Панчеву укупна инвестиција износи 1 541 635,19 Е (180 693 673,1 РСД) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 1 233 308,15 Е (144 554 938.52 РСД) Анализа учешћа

различитих врста радова у трошковима изградње показује да 97,40% чине грађевински радови.

4.5 Хладњача у Ариљу

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у Ариљу укупна инвестиција износи 209 005,52 Е (24 497 348,89 РСД) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 167 204,42 Е (19 597 879,12 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да 51,35% чине радови на изградњи лагер комора за воће и поврће.

4.6 Доња Краварица

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у месту Доња Краварица укупна инвестиција износи 294 957,91 Е (34 571 751,17%) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 235 966,33 Е (27 657 400,94 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да грађевински радови чине 44.37%.

4.7 Хладњача у Шајкашу

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у месту Шајкаш укупна инвестиција износи 1 242 512,95 Е (145 633 824,6 РСД) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ – а од 20% износи 994 010,36 Е (116 507 059,69 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да грађевински радови чине 74,97%.

4.8 Хладњача у Оџацима

Према студији оправданости за изградњу хладњаче у месту Оџаци укупна инвестиција износи 441 776,49 Е (51 780 224,79 РСД) са урачунатим ПДВ – ом, док цена без урачунатог ПДВ -а од 20% износи 353 421,19 Е (41 424 179,6 РСД) Анализа учешћа различитих врста радова у трошковима изградње показује да грађевински радови чине 74,39%.

5. ПАРЕТОВ ПРИНЦИП

Паретово правило, Паретов закон или правило 80/20 наводи да 80% постигнутог резултата постиже у 20% од укупног времена током пројекта. За постизање преосталих 20% потребно је највише рада.

6. ПОРЕЂЕЊЕ ПО ВРСТАМА РАДОВА

6.1. Поређење укупне цене грађевинских радова

Упоређујући само грађевинске радове који су дати на дијаграму 1, јасно се види да грађевински радови заузимају највећи удео у изградњи хладњача, те с тим имамо хладњаче код којих гр. радови износе од 45% до 97%. На наредном дијаграму је приказана цена грађевинских радова за све хладњаче.

6.2. Поређење цена за водовод и канализацију

Радови на ВиК у Тополи и Панчеву заузимају највећи проценат од укупних трошкова за изградњу ВиК. Радови обухватају скидање хумуса, широки ископ, насипање тење, полагање цеви и њихово нивелисање, затрпавање тењом и после шљунком.

Дијаграм 1. Цене свих грађевинских радова



6.3. Поређење цена за лагер комору за воће и поврће

Највећи трошак представља испорука, израда и монтажа расхладне опреме за складишта за воће и поврће. Приликом постављања комора морало се водити рачуна о самој нивелацији терана, потребно је било одредити добру термо и хидро изолацију. Највећи утрошак материјала смо имали за хладњаче у Ариљу, Доњој Краварици и Озацима.

6.4. Цене радова за расхладне уређаје

Највећи утрошак за расхладне уређаје имају хладњаче у Шајкашу, затим Лебану и у Нишу. Расхладни системи долазе са свом пратећом опремом од ваздушних кондезатора, рисивер боце са сигурносним вентилом, неповратним вентилом...

6.5. Цена коштања хале по м

Најмања цена коштања хале по м² бруто површине износи 22 794.61 РСД/м² и ова се налази у месту Озаци, док цена хладњаче по м² са највећом ценом коштања износи у насељу Доња Краварица и износи 102 419,64 РСД/м². На дијаграму 2. приказана је цена радова за хладњаче по м²

Дијаграм 2 Цена коштања хале по м²



7. ЗАКЉУЧАК

Хладњаче као део овог пројекта су посебне и садрже одређене специфичности када је у питању изградња и пројектовање оваквих хладњача. Постоје и делови хладњача које се не односе на сам рад хладњаче, а предвиђене су пројектом и неопходно их је урадити, као што су уградња соларних панела у насељу Доња Краварица. Гледајући и анализирајући ових осам хладњача у предметном задатку јасно се може закључити да највећа цена коштања хладњаче јесте хладњача у Панчеву.

Цена хладњаче зависи пре свега од намене. Кад се укупне цене сведу на јединичне, долази се до закључка да највећи утицај има јединична цена коју је пројектант предвидео. Поред свих изведених радова, убедљиво највећи удео учешћа имају гр. радови са учешћем од око 80%.

Позиције на постављању панела и изради, допремању и монтажи челичне к – је, као и бетонирање одређених делова представљају трошковно најзначајније активности из групе грађевинских радова.

8. ЛИТЕРАТУРА

- (1) Светолик Благојевић, “Приручник о складиштењу у хладњачама”, Међународни институт за хлађење Париз – Француска
- (2) Јашић Мидхат, Шубурић Драго, “Чување воћа и поврћа у хладњачама са контролираном атмосфером”, Тузла
- (3) https://www.ipc.rs/statisticki_podaci/2020/inflacija-merena-indeksom-potrosackih-cena-u-2020-godini
- (4) https://www.ipc.rs/statisticki_podaci/2021/inflacija-merena-indeksom-potrosackih-cena-u-2021-godini
- (5) https://www.ipc.rs/statisticki_podaci/2022/inflacija-merena-indeksom-potrosackih-cena-u-2022-godini
- (6) <https://www.grenef.com/grejni-kablovi-za-zastitu-podova-hladnjace/>
- (7) <https://srb-ct.rs/product/folije-za-izolaciju-i-zastitu-prilikom-radova/>
- (8) <https://srb-ct.rs/product/folije-za-izolaciju-i-zastitu-prilikom-radova/>
- (9) Wikipedia
- (10) Пројектна документација

Кратка биографија:



Милош Спасић рођен је у Крушевцу 01.12.1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство „Анализа трошкова за изградњу хладњача“ одбранио је 2024. год. Контакт: mspasic738@gmail.com

**ОДРЕЂИВАЊЕ ВРЕМЕНА ПОПЛОЧАВАЊА КАМЕНОМ КОЦКОМ И
ВИБРОПРЕСОВАНИМ БЕТОНСКИМ ПЛОЧАМА МЕРЕЊЕМ НА ГРАДИЛИШТУ****DETERMING THE TIMING OF PAVING WITH STONE CUBE AND VIBRATED
CONCRETE SLABS BY MEASURING ON THE CONSTRUCTION SITE**

Драгослав Гагић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – На станичном платоу трга у Суботици дефинисана је технологија поплочавања колских и пешачких површина. Експерименталним путем и методом фото-прегледа утврђена је норма времена поплочавања каменом коцком и вибропресованим бетонским плочама. Добијени резултати, просечне реалне норме, (мерене 10 дана за сваку позицију понаособ) су упоређени са домаћим стандардима те образложени добијени резултати.

Кључне речи: *Нормативи и стандарди у грађевинарству, организација и технологија извођење радова на поплочавању*

Abstract – *On the station plateau of the square in Subotica, the technology of paving paving of vehicular and pedestrian surfaces has been defined. Experimentally and by the method of photo-examination, the norm of paving time with stone cubes and vibropressed concrete slabs was determined. The obtained results, average real norms, (measured 10 days for each position individually) were compared with domestic standards and the results obtained were explained.*

Keywords: *Norms and standards in construction, organization and technology of paving work*

1. УВОД

Посматрање и анализирање је рађено на станичном платоу трга у Суботици. Комплетан простор станичног трга као завршну обраду има камене коцке и вибропресоване бетонске плоче. Разграничење између пешачких и саобраћајних површина формира се упуштеним каменим ивичњацима и додатно обезбеђује граничним стубићима и гуменим ивичњацима.

На основу снимања времена процеса рада у току једне десеточасовне смене анализирано је на дневном нивоу време које је потребно за процес постављања каменних коцки и вибропресованим бетонским плочама у датим околностима, те су сви недостаци и последице образложене у образцима приказаним као прилог 1 и прилог 2.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Милан Тривунић, ред. проф.

У сврху истраживања проблематике коришћени су различити извори података, као и методе рада са којим сам се служио при изради овог рада. Неке од њих су: метода тренутних опажања, метода фото прегледа, снимак (фотографија) радног дана и др.

2. НОРМИРАЊЕ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Велики број истраживача у различитим областима производних процеса, снимањем и анализом појединих и групних радних операција настојали су да открију како доћи до најбољих производних резултата. Када се за једну групу радова утврде оптимални односи производних чинилаца, то се прихвата и прописује као правило, односно „норматив“. На темељу норматива врши се следеће: прорачунавају се потребна средства за градњу, прорачунава се радна снага, машине и материјал, планира се динамика радова. Норме су основ и за награђивање што се све више практикује у савременим фирмама. С развојем средстава за производњу и технологије, те употребом нових материјала потребно је утврђивати и нове норме, односно кориговати постојеће.

Изражене су под претпоставком добре организације радног места, рада под нормалним условима просечног радника који рационално користи своје знање, материјал, алат и машине, остварујући добар квалитет грађења.

3. МЕТОДА ФОТО-ПРЕГЛЕДА

Метода фото прегледа примењује се за једноставне процесе дужег трајања и без периодичних понављања, у којем учествује мањи број радника, од три до пет људи. Ова метода је једноставна и позната метода за израду норме, све се снима а прецизност снимања је око једног минута. У снимање улази време активног рада, одмори, застоји по операцијама радног процеса.

Код методе фотопрегледа немамо понављање истих процеса, али постоји снимање које се понавља у различитим смеровима и различитим временима те се резултати снимања анализирају математичким методама. С обзиром на начин на који се приказују записи снимања постоје три врсте методе фотопрегледа, а то су графички, бројчани и мешовити.

2.1. Графички фото преглед

Графички фото преглед омогућава истовремено посматрање више радника (најбоље до три). Тачност записивања времена овде је нешто мања него код фото-прегледа са бројевима, а обухвата 0,5-1 мин. При овом начину мерења времена користи се специјални формулар. У процесу посматрања уписује се трајање сваке радне операције у виду линијског графика. При посматрању више радника (најбоље до три) сваки ток рада се записује посебном линијом. Истовремено је могуће да се мери и продукција у одговарајућим јединицама.

4. РАДНИ УСЛОВИ

Код радника је основно изазвати мотивацију и вољу за неки рад, као и осигурати повољне радне услове за њихово извршење. Класификација појединих фактора радних услова:

- Спољни фактори, који су објективне природе
- Субјективни фактори, који су у вези са природу човека
- Фактори у вези са организациом рада

Значај препознавања фактора радних услова је у томе што они, преко корективних коефицијената, утичу на прорачун укупног времена потребног за обављање одређеног посла.

5. РАДОВИ НА ПОПЛОЧАВАЊУ ПЕШАЧКИХ И КОЛСКИХ ПОВРШИНА

Постављање калдрме захтева добру подлогу. Веома је битно направити раван терен где се неће задржавати вода од кишнице и правити баре. Такође, добро урађена подлога подразумева и дуготрајност и постојаност калдрме која се поставља.

Калдрма има веома дуг животни век, може издржати стотине година. Из тог разлога постављање калдрме може бити исплативо. Поред тога, преправке и додавање делова калдрме може бити једноставно. Поготово што је камен доступан у различитим бојама, облицима и величинама. Калдрма је еколошки прихватљив материјал и није део отпада.

5.1. Опис радова

Поступак рада се састоји од следећих операција:

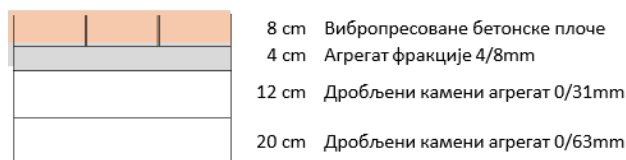
1. Машински ископ хумуса
2. Уређење темељног тла (подтла)
3. Израда насипа
4. Израда постељице
5. Транспорт материјала
6. Израда доњег носећег слоја од механички збијеног каменог материјала 0/63мм
7. Израда носивог слоја од дробљеног каменог материјала 0/31,5мм
8. Полагање бетонских ивичњака или камених
9. Израда застора од ситне камене коцке и/или постављање вибропресованих бетонских плоча

6. ОДРЕЂИВАЊЕ ВРЕМЕНА ПОПЛОЧАВАЊА КАМЕНОМ КОЦКОМ И ВИБРОПРЕСОВАНИМ БЕТОНСКИМ ПЛОЧАМА

Комплетан простор станичног трга као завршну обраду има камене коцке и/или вибропресоване бетонске елементе, као материјали који поседују својства као што су: трајност, издржљивост, отпорност на различите утицаје (хабање, механичко, физичко и хемијско оштећење), задовољавају естетске критеријуме централне градске зоне и погодни су за одржавање (прање, замена оштећених делова-површина и сл.).



Slika 1. Приказ слојева за поплочавање каменом коцком



Slika 2. Приказ слојева за поплочавање каменом вибропресованим бетонским плочама

6.1. Снимање начина рада

Приликом мерења за одређени посао, били су ангажовани квалификовани и неквалификовани радници с обзиром на врсту посла која се обављала, материјал који је био потребан за израду посла је био на градилишту, а уз извођење радова није било често присутно додатно залагање и умор. Мерење је било извршено у летњем периоду, где су биле превисоке температуре, те је стога продуктивност радника била на мањем нивоу него што би то било приликом мерења код умерене температуре. Нормирање се вршило у периоду од 05.08.2024. до 27.08.2024., узимајући у обзир да се недеља није радила. Дневно се радило по 10 сати (1 сат пауза), од 7 до 17h.

6.2. Анализа

Tabela 1. Вредност норме времена по данима за постављање бехатон плоча

Датум	Опис ставке	Утрошак времена V u satima	Кол. Q	Норматив V/Q
5.8.2024.	Постављање бехатон плоча 70/17,5/8цм	6,83	78	0,087
6.8.2024.		6,92	67	0,103
7.8.2024.		7,17	82	0,087
8.8.2024.		6,92	77	0,089
9.8.2024.		7,17	89	0,081
10.8.2024.		7,5	94	0,079
12.8.2024.		7,33	90	0,081
13.8.2024.		7,58	85	0,089
14.8.2024.		7,42	84	0,088
15.8.2024.		7,75	95	0,082

Tabela 2. Вредност норме времена по данима за постављање гранитних коцки

Датум	Опис ставке	Утрошак времена V и $satima$	Кол. Q	Норматив V/Q
16.8.2024.	Постављање гранитних коцки 10/10/10цм	6	16,7	0,359
17.8.2024.		6,5	18,2	0,357
19.8.2024.		6,42	15,3	0,419
20.8.2024.		5,92	14,1	0,419
21.8.2024.		5,83	15,1	0,386
22.8.2024.		6,08	16,3	0,373
23.8.2024.		6,33	19,8	0,319
24.8.2024.		6,75	20,4	0,331
26.8.2024.		7,08	22	0,322
27.8.2024.		7,25	22,3	0,325

Посматрање постављања бехатон плоча - Одређивање односа реалне норме времена и норме времена из стандарда ЈУС ГН 301-802

$(0,277/0,450)*100=61,56\%$ - за 61,56% је већа ефикасност праћеног рада у односу на норму ЈУС ГН 301-802

Посматрање постављања гранитних коцки - Одређивање односа реалне норме времена и норме времена из стандарда ЈУС ГН 242-301

$(0,224/0,580)*100=38,62\%$ - за 38,62% је већа ефикасност праћеног рада у односу на норму ЈУС ГН 242-301

7. ЗАКЉУЧАК

У овој раду је приказана и анализирана реална норма времена за попљачавање пешачких и колских површина вибропресованим бетонским плочама (бехатон) и каменом коцком (калдрма), као и уска повезаност функције норматива са продуктивношћу рада, али и потребе тржишта за новим јавним нормама. Снимање је рађено у периоду од 5 до 27. августа 2024, кроз десетодневно праћење (цела смена) рада мајстора и помоћних радника на станичном платоу трга у Суботици.

Коришћена је метода фотопрегледа, прецизније графички фото преглед. Разлог зашто се користила баш ова метода јесте што се ова метода примењује на једноставне процесе рада који дуже трају и без периодичних понављања, у којем учествује мањи број радника, што у потпуности одговара позицијама које су посматране и анализирани у овој раду. Неке од предности графичке методе су: велика прегледност бележења времена која олакшава анализу резултата посматрања, једноставност убележавања података и једноставност и релативно брза обрада образаца.

У смени од 10 сати ефективно се радило у просеку 7,259 сати на полагању бехатон плоча и 6,416 сати на полагању каменних коцки а дневно се постављало у просеку око 42,05м² бехатон плоча и 18,02 м² каменних коцки. Просечна норма времена је 0.45

сати/м² за постављање бехатона и 0,58 сати/м² за постављање каменних коцки. Димензије бехатон плоча су 70/17,5/8цм а камене коцке 10/10/10цм.

Ради лакшег сагледавања и анализирања реалне норме времена која је добијена као средња вредност реалне норме времена за 10 дана, праћен је рад искључиво једног радника, те је добијена норма времена упоређена са домаћим (ЈУС ГН 301-802 и ЈУС ГН 242-301) стандардима, из којих је добијено:

- Попљачавање бехатон плочама ефикасност праћеног рада је већа за 61,56% у односу на ону норму времена која је прописана стандардом ЈУС ГН 301-802
- Попљачавање каменом коцком ефикасност праћеног рада је већа за 38,62% у односу на ону норму времена која је прописана стандардом ЈУС ГН 242-301

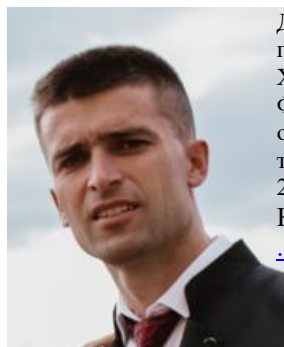
Може се закључити у току овог истраживања да је рад знатно ефикаснији него што то норму налажу, неки од разлога су:

- савремени материјали и опрема
- константан стручни надзор
- пријатна радна атмосфера
- добра организованост
- мотивисаност

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пешко Н. Игор: „Технологија извођења грубих грађевинских радова“, *Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија, 2021.*
- [2] *Научно-образовни институт за индустријску градњу, Нови Сад, Србија, 1985.*
- [3] Тривунић Милан, Матијевић Зоран: „Технологија и организација грађења“, *Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Нови Сад, Србија, 2004.*
- [4] Просечне норму у грађевинарству, *Издавачко предузеће „Грађевинска књига“, Београд, Србија 1972.*
- [5] Пројекат друмских саобраћајница – приступни пут станици Суботица путничка на КМ 176+550 са станичним тргом, Београд, Р.Србија 2021.

Кратка биографија:



Драгослав Гагић дипл. инж. грађ. рођен је у Бенковцу, Хрватска 1992. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Организације и технологије грађења одбранио је 2024.год.
Контакт: dragoslavgagic@yahoo.co.uk

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA OPTIMALNOG REŠENJA HIDROIZOLACIONOG SISTEMA ZA PODZEMNE ETAŽE OBJEKTA

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF WATERPROOFING SYSTEM FOR UNDERGROUND FLOORS OF BUILDINGS

Mladen Marković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Tema ovog master rada je postupak izbora optimalnog varijantnog rešenja hidroizolacije za zaštitu podzemnih etaža od vlage i visokih nivoa podzemnih voda na osnovu ekonomskih i tehničko-tehnoloških kriterijuma.

Ključne reči: Podzemne etaže, hidroizolacija, višekriterijumska optimizacija, pouzdanost, troškovi i vreme,

Abstract –The subject of this Master's Thesis is the procedure of making choice for optimal waterproofing protection of the underground floors using multi-criteria analysis. using economic, technical-technological and reliability criteria.

Keywords: Underground floors waterproofing, multi-criteria analysis, reliability, expenses and time

1. UVOD

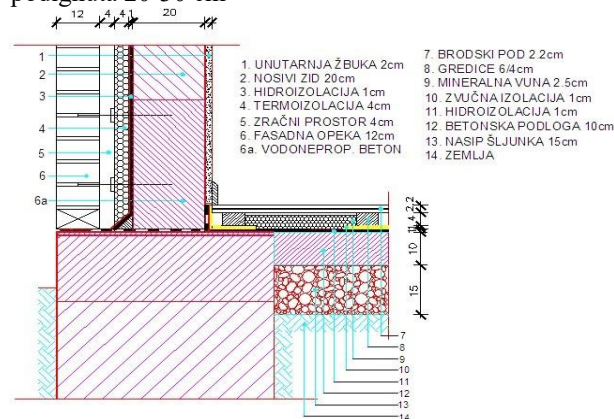
Zaštita od vode je širok pojam. Predstavlja različite tehničke mere kojima štitimo sve one delove objekata koji su privremeno ili stalno pod uticajem vode ili vlage, bez obzira na njihov izvor. Pojam hidroizolacije predstavlja jednu od mogućih mera zaštite od vode ili vlage. U ukupnim delovima objekta, hidroizolacijom štitimo konstrukciju i unutrašnje prostore od prodora vode, odnosno vlage, koje se nalaze u zemljištu. Samim tim su izbor odgovarajućeg materijala odnosno proizvoda i pravilna ugradnja veoma važni. Naknadna sanacija je veoma kompleksna, skupa i često uspešna tek nakon većeg broja pokušaja.

2. VERTIKALNA I HORIZONTALNA HIDROIZOLACIJA PODZEMNIH ETAŽA

Zemljište ili tlo vlaži oborinska ili podzemna voda bilo direktno ili usled visokog vodostaja podzemne vode ili indirektno upijanjem i širenjem usled kapilariteta.

Temelji su najizloženiji vlažnosti pa se izvode od materijala kojem vlaga ne šteti. Tako da se temelji, osim u izuzetnim slučajevima, uopšte ne zaštićuju od vlage, ali se moraju zaštititi konstrukcije iznad i pokraj temelja. Za zaštitu ili izolaciju konstrukcija i uređaja protiv vlage, najviše se primenjuju vrući premazi bitumena, asfalta i katrana u kombinacijama s hladnim emulzijama i izolacionim trakama. Izrađuju se i trake sa ugrađenim bakrenim ili aluminijumskim limovima

Horizontalna hidroizolacija se izvodi površ horizontalnih površina temelja i površ podnih podloga izloženih vlazi, kako bi se sprečilo vertikalno širenje vlage iz tih konstrukcija u konstrukcije iznad njih tj. zidove i podove. Horizontalna hidroizolacija ispod zidova se stavlja odmah nakon betoniranja temelja ili podnožnih zidova ukoliko zgrada nema podrum. Izolacija ispod podova izvodi se kada više nema sleganja zgrade. Horizontalna hidroizolacija treba biti iznad nivoa okolnog terena podignuta 20-30 cm

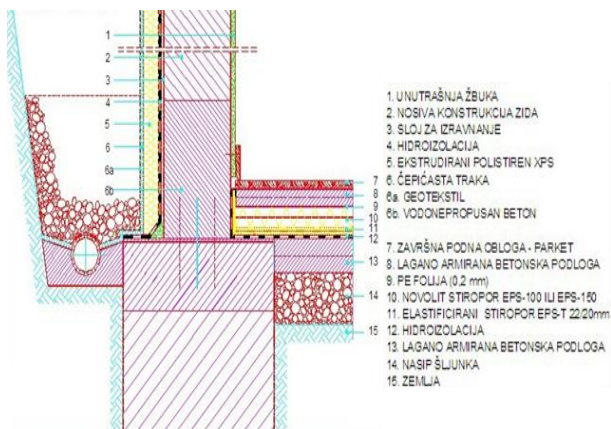


Slika 1. Detalj spoja poda prizemlja

Vertikalna hidroizolacija se izvodi s vanjske strane podrumskog zida na onom delu koliko je zid u zemlji. Vertikalnu HI imaju samo zgrade sa podrumom ili suterenom. Postavlja se na prethodno izravnatu podlogu zida. Iz vana je moramo zaštititi od mehaničkih oštećenja čepičastom folijom, termoizolacijom, geotekstilima, zidom. Spoj s vertikalnom izolacijom se vrši preklapanjem odozgo, kao i kod svih sastava vertikalne izolacije. Za izradu vertikalne izolacije potrebno je izvršiti širi otkop oko zgrade, obično pod nagibom, tako da je u donjem dijelu širina prostora oko 40 cm.

NAPOMENA:

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



Slika 2. Detalj spoja pod i podrumskog zida

3. HIDROIZOLACIONI MATERIJALI I SISTEMI

Hidroizolacioni materijali čine posebnu grupu građevinskih materijala za koje važe vrlo strogi zahtevi za kvalitete. To su materijali koji se ne smatraju za konstrukcijske niti nosive, ali su hidroizolacioni materijali odgovorini za upotrebljivost i stanje konstrukcije.

Hidroizolacioni materijali se mogu podeliti na više načina: prema sirovinskoj osnovi, konzistenciji i načinu ugrađivanja.

Podela prema sirovinskoj osnovi je na:

- Hidroizolacione materijale od bitumena, polibitumena u obliku premaza, namaza i traka
- Hidroizolacione materijale od sintetičkih smola u obliku traka, membrana i debeloslojnih premaza
- Hidroizolacione materijale od cementnih kompozicija u obliku premaza, vodonepropusnih maltera i injekcionih masa

Podela prema konzistenciji na:

- Fleksibilne sisteme (plastični, plastoelastični i elastični), na bazi bitumenskih, polimerbitumenskih i sintetičkih materijala
- Krute sisteme (cementne kompozicije koje vežu sa podlogom i ostvaruju fizički prijanjanjem za podlogu ili penetrirajući u podlogu)

Prema načinu ugrađivanja na :

- Višeslojne fleksibilne sisteme od bitumenskih i polimer bitumenskih traka koje se izgrade na dva načina : -ugrađivanjem traka po toplom i hladnom postupku
- Bitumenski premazi, namazi, paste koje se izgrade premazivanjem
- Sistemi od sintetičkih/elastomernih traka koji se po pravilu izgrade kao jednoslojni sistemi
- Tačne sintetičke bešavne membrane koje se primenjuju po hladnom postupku premazivanje ili prskanjem
- Kruti sistemi od cementnih kompozicija koje se izgrade u više slojeva po hladnom postupku [1].

4. TEHNOLOŠKA ANALIZA HIDROIZOLACIONOG SISTEMA ZA PODZEMNE ETAŽE

U ovom radu je rešen problem izbora optimalnog rešenja hidroizolacionog sistema suterena objekta u S.Kamenici koji obuhvata garažu, ostavu i tehničke prostorije ukupne površine za hidroizolovanje od 148,55 m² hidroizolacije AB temeljne ploče i 215,68 m² hidroizolacije AB zidova.

4.1 VARIJANTNA REŠENJA

Za potrebe analize usvojena su 4 varijantna rešenja :

- VARIJANTA 1 - BITUMENSKE TRAKE KONDOR V4
- VARIJANTA 2 – BENTONITNA MEMBRANA VOLTEX
- VARIJANTA 3 – PVC MEMBRANA
- VARIJANTA 4 – BELA KADA SA PENETRON ADMIXOM

VARIJANTA 1 KONDOR V-4, se koristi kao međusloj u dvo- i višeslojnim sistemima ravnih krovova, koji su zaštićeni hidroizolacionom trakom sa UV zaštitom. Koristi se i u hidroizolaciji temelja i to za manje zahtevne jedno ili višeslojne hidroizolacije vertikalnih ili horizontalnih delova objekata. Ova plastomerna bitumenska traka ugrađuje se varenjem.

VARIJANTA 2 Natrijum bentonit je specijalna, netoksična, hemijski inertna vrsta gline vulkanskog porijekla nastala pre više miliona godina. Jedinstvena karakteristika ovog prirodnog materijala je kapacitet povećanja volumena nakon kontakta s vodom. U takvom stanju, natrijum bentonit može povećati svoju zapreminu 15-16 puta više od zapremine u suvom stanju i postaje potpuno nepropusni gel. Hidroizolacija podzemnih delova konstrukcije. VOLTEX je hidroizolacija na bazi Volclay bentonita koja se vezuje za betonsku konstrukciju. Sastoji se od dva čvrsta

polipropilenska geotekstila i 4,88 kg Volclay bentonita u granulama po m²

VARIJANTA 3 : PVC Membrana

PVC membrane se koriste za hidroizolaciju temelja, ravnih krovova, terasa, podruma i drugih građevinskih elemenata. Njihova popularnost dolazi zbog visoke fleksibilnosti, otpornosti na UV zračenje, hemikalije i dugotrajnosti. Ugradnja PVC membrana zahteva pažljivu pripremu i specifične tehnike kako bi se osigurala potpuna hidroizolacija.

VARIJANTA 4 : Bela kada sa Penetronom (kristalizator) Sistem "Bela kada" sa Penetronom koristi se za hidroizolaciju betonskih konstrukcija, naročito podzemnih delova kao što su temelji, podrumi i garaže. Ovaj sistem se oslanja na primenu aditiva koji omogućavaju kristalizaciju unutar betona, stvarajući vodonepropusni materijal bez potrebe za dodatnim spoljnim slojevima hidroizolacije. Penetron je jedan od najpoznatijih brendova koji koristi tehnologiju kristalizacije za vodonepropusnost betona.

4.2 Kriterijumi vrednovanja

U postupak vrednovanja i optimizacije uvrštena su tri kriterijuma. Kriterijumi su tehničko-tehnološkog i ekonomsko-finansijskog karaktera.

Postupak vrednovanja se vrši samo na izboru hidroizolacionog sistema. Za izbor optimalnog tipa hidroizolacije definisani kriterijumi su:

- K1-Pouzdanosti
- K2-Troškovi materijala i rada
- K3 - Trajanje radova

Pozdanost kao kriterijum nije merljiva s obzirom da ne postoje statistički podaci kojima bi se moglo doći do zaključka o pouzdanosti izolacije u eksploatacionom periodu objekta. Usvojeni se empirijske vrednosti naspram izvođačkog iskustva sa gradilišta za svako pojedinačno alternativno rešenje.

Troškovi materijala hidroizolacije obuhvataju troškove materijala i troškove prevoza do gradilišta. Za proračun uzeti podaci dobijeni od strane dobavljača predmetnih tipova hidroizolacije.

Troškovi rada obuhvataju troškove radne snage. Za analizu su krošteni normativi u građevinarstvu, za slučajeve gde normativi postoje korišćeni su iskustveni podaci izvođača radova.

Ukupni troškovi predstavljaju trošak rada, trošak materijala i faktora opštih troškova koji imaju vrednost 4 [2].

Ukupno vreme predstavlja izračunato potrebno vreme na osnovu građevničkih normativa i iskustvenih podataka izvođača radova.

Tabela 4.2. Rekapitulacija svih kriterijuma

Varijante	KRITERIJUMI				
	Troškovi materijala	Troškovi rada	Ukupni troškovi	Ukupno vreme	pouzdanost
Varijanta 1	615.204,00	93.862,41	1.084.516,04	211,98	0,93
Varijanta 2	345.389,83	38.240,19	536.590,76	87,12	0,85
Varijanta 3	589.358,95	88.723,99	1.032.978,91	193,77	0,97
Varijanta 4	297.494,90	5.713,88	326.064,31	6,86	0,88

5. METODE ZA IZBOR OPTIMALNOG REŠENJA

Za izbor najpovoljnije varijante hidroizolacionog sistema u ovom radu su primenjena 2 postupka : metoda rangiranja i metoda višekriterijumske optimizacije sa uvođenje težinskih koeficijenata.

Na osnovu podataka iz tehnološke analize izvršeno je rangiranje na osnovu definisanih kriterijuma u tabeli br.5 gde je prikazano rangiranje prema svim kriterijumima.

Tabela 5. Rangiranje prema svim kriterijumima

Varijante	RANG po ukupnim troškovima	RANG po trajanje radova	RANG po pouzdanosti	ZBIR	RANG LISTA
Varijanta 1	4	4	2	10	4
Varijanta 2	2	2	4	8	3
Varijanta 3	3	3	1	7	2
Varijanta 4	1	1	3	5	1

Rezultati analiza pokazuju:

- Na osnovu ukupnih troškova najpovoljnija je varijanta 4.
- Na osnovu vremena potrebnog za ugrađivanje (izradu) hidroizolacije najpovoljnija je varijanta 4.
- Na osnovu kriterijuma pouzdanosti najpovoljnija je varijanta 3.

Kako rezultati rangiranja po ukupnim troškovima i vremenu ugrađivanja prednost daju varijanti 4, a pouzdanost varijanti 3, za konačan izbor najpovoljnijeg tipa hidroizolacije primenjena je i metoda višekriterijumske optimizacije.

U tabeli 6 su prikazani ulazni podaci za optimizaciju.

Problem optimizacije je modeliran na 4 varijante i tri kriterijumske funkcije u obliku :

$$\min F(x) = \min (f_1, f_2, f_3) \quad [2]$$

gde su:

f_1 – ukupni troškovi izrade hidroizolacije (din/m2)

f_2 – potrebno vreme izrade hidroizolacije (h)

f_3 – pouzdanost hidroizolacionog sistema (%)

Tabela 6. Ulazni podaci

Krit.fun/alter.	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
f_1	2977,64	1473,26	2836,14	895,24
f_2	211,98	87,12	193,77	6,86
f_3	93,00	85,00	97,00	88,00

Redosledi varijantnih rešenja primenom metode kompromisnog programiranja i metode višekriterijumskog kompromisnog rangiranja prikazani su tabelarno (tabela 7 – tabela 10).

Tabela 7. Meroda kompromisnog programiranja rešenje najbolje po svim kriterijumima posmatranim zajedno

Alter.rešenja	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Redosled rešenja	4	2	3	1

Tabela 8. Meroda kompromisnog programiranja rešenje geometrijski najbliže idealnoj tački

Alter.rešenja	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Redosled rešenja	4	2	3	1

Tabela 9. Metoda kompromisnog programiranja prioritet dat kriterijumu sa najvećim odstupanjem

Alter.rešenja	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Redosled rešenja	4	2	3	1

Tabela 10. Metoda kompromisnog rangiranja

Redosled alternativnih rešenja				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Qj(v=0,0)	4	2	3	1
Qj(v=0,3)	4	2	3	1
Qj(v=0,6)	4	2	3	1
Qj(v=0,9)	4	2	3	1
Qj(v=1,0)	4	2	3	1

Na osnovu postupka optimizacije kompromisnim rangiranjem, kako sa istim tako i sa različitim težinskim koeficijentima, zaključeno je da je varijantno rešenje A4 optimalno, hidroizolacioni sistem tipa Bela kada sa Penetronom, može se predložiti kao najpovoljnija (optimalna) varijanta za izvođenje podzemne etaže stambenog objekta u Sremskoj Kamenici.

6. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada bila je zaštita podzemnih etaža od stalnog prodora vode i izbor optimalnog hidroizolacionog sistema na stambenom objektu u S.Kamenici.

Opisane su karakteristike hidroizolacionih materijala i prikazana je podela hidroizolacionih materijala i sistema. Za sve četiri varijante u radu su opisani postupci izvođenja hidroizolacije, izračunati troškovi materijala i rada, ukupni troškovi i utvrđeno je potrebno vreme za postavljanje hidroizolacije.

Izbor najpovoljnije varijante urađen je po dve metode, metodom rangiranja i metodom više kriterijumske optimizacije, na osnovu tri primarna pokazatelja:

- ukupnih troškova,
- potrebnog vremena za izvođenje hidroizolacije i
- pouzdanosti

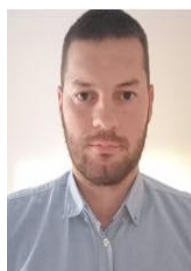
Na osnovu izlaznih rezultata obe metode predložena je varijanta 4 - Bela kada sa Penetronom.

Sistem "Bela kada" sa Penetronom koristi se za hidroizolaciju betonskih konstrukcija, naročito podzemnih delova kao što su temelji, podrumi i garaže. Ovaj sistem se oslanja na primenu aditiva koji omogućavaju kristalizaciju unutar betona, stvarajući vodonepropusni materijal bez potrebe za dodatnim spoljnim slojevima hidroizolacije, budući da Penetron Admix postaje integralni deo betona, nema potrebe za dodatnim slojevima spoljne hidroizolacije, što ubrzava izgradnju.

4. LITERATURA

- [1] Todorović M., Bogner M., Denić, N "O Izolaciji" Beograd, 2012
- [2] Trivnunić M., Matijević, Z "Tehnologija i organizacija građenja" - praktikum, Novi Sad, 2009

Kratka biografija:



Mladen Marković je rođen u Kotoru (CG), 13.07.1992. godine. Ponosni je Otac dvoje dece. Osnovne studije iz oblasti Građevinarstvo - Hidrotehnika završio 2017 godine na Fakultetu Tehničkih nauka u Novom Sadu.

Od 2018 godine radi u građevinskoj industriji. Master rad iz oblasti Građevinarstvo–Tehnologija i organizacija građenja odbranio je 2024. godine na FTN.

kontakt: mladen1307@gmail.com

ИНТЕГРАЦИЈА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION

Дарија Гаврић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Предмет овог мастер рада је приказ теоријске и практичне примене вештачке интелигенције у грађевинарству. Поред практичних примера у овом раду су анализиране и две студије случаја. Прва студија случаја истражује примену система за надзор безбедности и анализу активности аутономних багера на градилиштима. Аутономни багери раде у екстремним условима и смањују ризик од несрећа, али истовремено захтевају напредан систем за праћење. Систем за безбедност процењује положај багера на основу кључних тачака (зглобова) и на тај начин детектује њихову активност. Ова анализа помаже у оптимизацији рада и повећању продуктивности.[1]. Друга студија случаја се бави употребом роботике у управљању грађевинским пројектима. Студија је заснована је на подацима у реалном времену добијеним од дронова и представља оквир за развој система паметног надзора и извештавања у фази изградње[2].

Кључне речи: вештачка интелигенција, машинско учење, грађевинарство, безбедност, грађевинска механизација

Abstract – The subject of this master thesis is a presentation of the theoretical and practical application of artificial intelligence in construction. In addition to practical examples, this paper also analyzes two case studies. The first case study investigates the application of a safety monitoring system and activity analysis of autonomous excavators on construction sites. Autonomous excavators operate in extreme conditions and reduce the risk of accidents, but at the same time require an advanced monitoring system. The safety system evaluates the position of the excavator based on key points (joints) and thus detects their activity. This analysis helps in optimizing work and increasing productivity [1]. The second case study deals with the use of robotics in construction project management. The study is based on real-time data obtained from drones and provides a framework for the development of a smart monitoring and reporting system in the construction phase[2].

Keywords: artificial intelligence, machine learning, construction, security, construction machinery.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Милан Тривунић, ред. проф.

1. УВОД

Грађевинарство се сусреће са бројним изазовима, укључујући прекорачење трошкова, временске притиске, здравствене и безбедносне ризике, продуктивност и недостатак радне снаге. Грађевинарство је значајан део светске економије, са преко 8% светског БДП-а. Примена ВИ је из теоријске области прешла у практичну и нашла широку примену у различитим индустријама, међутим, за ВИ у грађевинарству, још увек постоји велика разлика између могућности и примене.

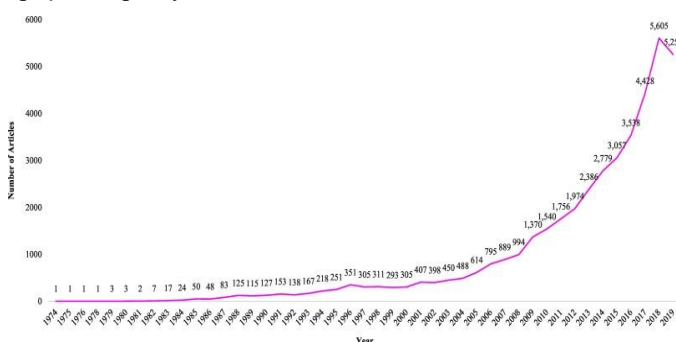
2. ДЕФИНИЦИЈА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ

Напредак примене вештачке интелигенције у грађевинарству укључио је подобласти вештачке интелигенције као што су машинско учење, компјутерски вид, обраду природног језика, системе засноване на знању, оптимизацију, роботiku, аутоматизовано планирање и заказивање [3].

3. ИНТЕГРАЦИЈА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Недостатак дигитализације у грађевинској индустрији чини пројекте сложенијим и непотребно заморним[4].

На слици 1 може се видети напредак ВИ у грађевинарству од 1974. до 2019.



Слика 1. Интеграција ВИ у грађевинарству [4]

4. ПРИМЕЊЕНИ СЛУЧАЈЕВИ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Вештачка интелигенција игра кључну улогу у свим фазама пројектовања, имплементације, као и праћење грађења [5].

4.1 Машинско учење

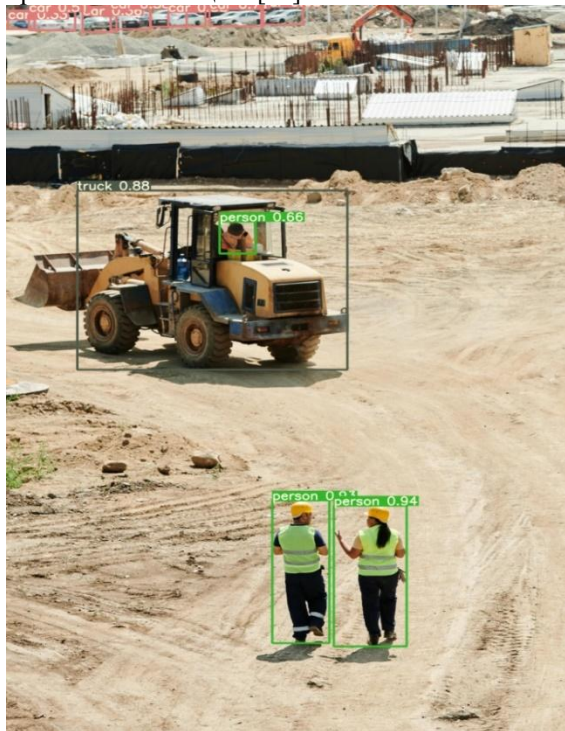
Машинско учење у грађевинарству има више примена за предиктивну аналитику, праћење безбедности, одржавање опреме, енергетска ефикасност, контролу квалитета, процену трошкова, као и надзор [6]. Будући потенцијали ВИ у грађевинарству дати су у табели 2.

Табела 1. Улога и утицај предиктивне аналитике [7]

Улога машинског учења	Утицај
Планирање пројекта	Предвиђа временске оквире, побољшава алокацију задатака
Управљање ресурсима	Оптимизује ресурсе, смањује отпад
Да осигура квалитет	Прати квалитет у реалном времену, ублажава грешке

4.2 Рачунарски вид

Рачунарски вид може идентификовати дизалице, булдожере, багере, утовариваче и другу грађевинску механизацију на основу њиховог кретања и присуства. На тај начин се може осигурати ефикасно коришћење механизације и смањити време чекања на одређеним местима. У оквиру слике 2 приказана су интелигентна решења користе алгоритме за детекцију објеката како би препознала грађевинска возила и спречила да машине блокирају пролазе и излазе [9]. Такође, помоћу рачунарског вида можемо управљати и одржавати имовину, радити контролу квалитета, праћење и оптимизацију процеса, користити за мерење запремине, 3д мапирање, повећати безбедност радног места, вршити инспекцију на градилишту, као што је приказано на слици 3 [10].



Слика

а 2. Помоћу машинског учења, рачунарски вид може идентификовати машине и особе на основу њиховог кретања и присуства [9]



Слика 3. Примена вештачке интелигенције приликом инспекције објекта [11]

4.3 Роботика у грађевинарству

Примена роботике у грађевинарству има за циљ аутоматизацију процеса и сигурно обављање опасних задатака. Роботе у грађевинарству можемо поделити на различите врсте као што су дронови, раднике роботе, индустријске роботе, самовозећи роботи. Када је реч о зидању, прецизно контролишу сечење, усмеравање и постављање опеке. Могу се постићи резултати који су за човека готово немогући, на пример, окретање сваке опеке тачно за један степен, приказано на слици 4. како би се добио суптилно закривљени зид [12],[13].



Слика 4. Зидања помоћу робота [13]

4.4. Примена ИИТ у грађевинарству

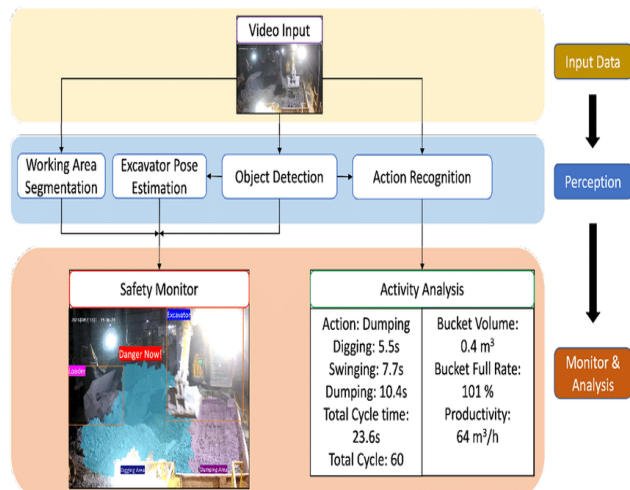
На градилишту сензори се постављају на одређено место или их радници носе са собом. ИИТ уређаји прикупљају податке о активностима, радовима и условима на градилишту, а затим те податке шаљу у базу података где се они анализирају и стварају темељ за будуће одлуке [14].

5. СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА

Прва студија случаја фокусира се на употребу аутономних багера на градилишту. Овај део истражује како се компјутерска визија и вештачка интелигенција могу искористити за побољшање безбедности и ефикасности рада багера. Друга студија случаја истражује примену роботике у грађевинарству. Ова анализа разматра како роботи могу допринети оптимизацији грађевинских процеса, као и изазове и предности њихове употребе на градилиштима.

5.1 Прва студија случаја – Коришћење рачунарског вида

Овај студијски случај истражује примену система за надзор безбедности и анализу активности багера на градилиштима. Фокус је на увођењу аутономних багера који користе рачунарски вид за процену положаја и препознавање активности [1].



Слика 5. Анализа активности багера и праћење њихове безбедности

Видео анализа се састоји се од три фазе, прва идентификује различите грађевинске машине на снимку. Затим друга фаза процењује положај багера, идентификујући кључне тачке као што су зглобови машине. Трећа, дели радно подручје на области, копање и депоновање, како би се лакше управљало радом и осигурала безбедност.

5.1.1 Област анализе

На слици 5 је приказан оквир за препознавање активности грађевинске механизације, праћење безбедности и анализу продуктивности. Надзорне камере служе као улазни систем који се састоји од шест главних модула [1].

1. Детекција грађевинских машина,
2. Процена положаја багера,
3. Сегментација радних области,
4. Препознавање активности,
5. Надзор безбедности,
6. Анализа продуктивности.

5.1.2 Положај багера

На багеру гусеничару постоји десет кључних тачака као што је приказано на слици 6, које одређују положај и кретање, а то су:

- две тачке на крајевима кашике - за праћење где се материјал копа или депонује,
- три зглоба кашике - омогућавају покретљивост кашике,
- два зглоба руку - омогућавају кретање руке багера,
- четири зглоба стреле - повезује руке и тело багера,
- четири тачке на телу - важне за праћење положаја багера [1].



Слика 6. Приказ кључних тачака на багеру

5.1.3 Сегментација радног подручја

Код процеса сегментације фотографије, пиксели сличних својстава (боја, текстура, облик) групишу се у сегменте, ова техника омогућава одређивање области различитих функција. Анализом боје, текстуре и облика пиксела на фотографији, могуће је одредити подручја за копање и одлагање. [1].

5.1.4 Основне радње багера

Рад багера укључују три главна корака: копање, замахивање и одлагање. Прво, багер копа материјал, затим прави замахни покрет, након што је кашика напуњена материјалом, багер се помера (љуља) да би одлажио материјал на предвиђено место. Ови кораци омогућавају ефикасно управљање и померање материјала на градилишту. Аутономни багер има четири стања: стање копања, љуљање након копања, стање депоније и стање љуљања за копање .

5.1.5. Праћење безбедности радне механизације

Упозорење се може појавити ако се више машина налази у истој области, а возила могу бити заустављена док се ситуација не реши. Судар између багера и утоваривача може се десити када утоваривач покушава да утовари у подручје копања. У таквом случају сигнал опасности биће активиран како би се спречио судар[1].

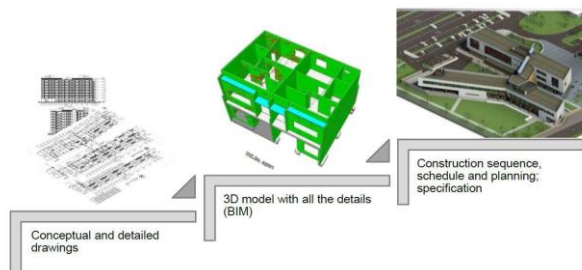
5.2. Друга студија случаја - Употреба роботике у управљању грађевинским пројектима

У грађевинарству примена дронова подразумева надзор аутопутева, мостова, а користи се и за геодетска снимања и мапирања, као и праћење напретка изградње. Беспилотне летелице (eng. unmanned aerial vehicle) омогућавају:

- Креирање прецизних 3Д модела,
- Праћење материјала на складишту,
- Обављају инспекције,
- Интеграција дронова са БИМ системима омогућава извођачима да упореде стварне податке са пројектним дизајном снимци из ваздуха [2].

5.2.1 Преглед

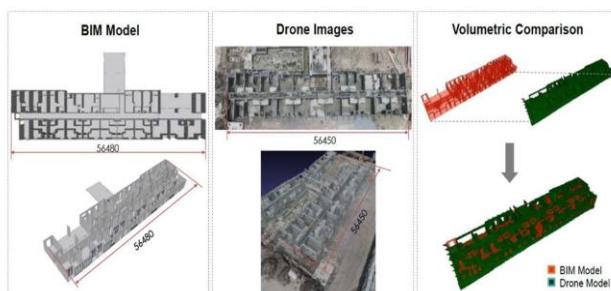
Ова студија случај заснована је на подацима добијеним у реалном времену од дрона и представља оквир за развој система паметног надзора и извештавања у фази изградње. Сlike са дрона и тачаке добијене скенирањем градилишта користе се за креирање 3Д модела. Коришћењем фотографија праве се модели у различитим фазама изградње. [2]



Слика 7. Кораци у планирање и праћењу изградње [2]

5.2.2. Употреба дрона за надзор на грађевинским објектима

После прикупљања фотографија са дрона, креиран је 3Д модел који је извезен као фајл (формат *eng. wavefront*). За 3Д реконструкцију коришћен је софтвер 3DF Zephyr. Тај 3Д модел је затим увезен у РЕВИТ, где је преклопљен са стварним ревит моделом зграде како би се извршило поређење [2].



Слика 8. Преклапање БИМ модела и модела који је настао снимањем дроном градилишту [2]

У току спровођења студије у пројекту је дошло до кашњења радова, што је систем препознао, приказано на слици 9.



Слика 9. Приказ кашњења у извођењу [2]

Различити фактори могу утицати на прецизност прикупљених података, укључујући:

- Извор и квалитет података,
- Висина са које дрон снима,
- Угао камере,
- Какве технике се користе у изградњи, које могу утицати на мерења.

Утврђено је да је просечна грешка мања од 0,12 m у мерењима контролних тачака за пет тестираних случајева [2].

6. ЗАКЉУЧАК

Постигнут је циљ да се поред теоријског прикажу и практични примери. Примена ВИ у грађевинској индустрији потврђена је кроз две различите студије случаја. Ове студије обухватају технологије као што су рачунарски вид, дубоко учење и роботика, што приказује широку примену од процене безбедности на градилишту до праћења напредовања радова.. Сматра се да ће ВИ као и друге технологије које су уведене кроз историју грађевинарства, доћи и бити део свакодневне рутине.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1]https://www.researchgate.net/publication/362268337_Construction_site_safety_monitoring_and_excavator_activity_analysis_system
- [2]https://www.researchgate.net/publication/326264559_Construction_Monitoring_and_Reporting_using_Drones_and_Unmanned_Aerial_Vehicles_UAVs
- [3]<https://www.academia.edu/download/59324554/artificial-intelligence-modern-approach.9780131038059.2536820190520-68130-5er8ed.pdf>
- [4]https://www.researchgate.net/publication/338420260_Artificial_intelligence_in_the_AEC_industry_Scientometric_analysis_and_visualization_of_research_activities
- [5]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221011578>
- [6]<https://www.viewpoint.com/en-gb/blog/machine-learning-making-your-data-work-harder-for-you?redirected=y>
- [7] <https://keymakr.com/blog/building-with-brains-how-ai-and-machine-learning-are-transforming-construction/>
- [8]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710220334604>
- [9]<https://viso.ai/applications/computer-vision-in-construction/>
- [10]https://hexagon.com/products/assetperformancemanagement?utm_source=google&utm_medium=social&utm_campaign=2023_q3_eu_growth_maintain_eam
- [11]<https://www.ucf.edu/news/new-ucf-tech-uses-ai-vr-to-monitor-safety-of-bridges-buildings/>
- [12]<https://www.monsenengineering.com/how-robots-are-changing-the-construction-industry/>
- [13]https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-fabrication-methods-using-different-approach-using-clay-material-a_fig1_343604333
- [14]<https://www.agilevision.io/blog/applying-iot-in-the-construction-industry-top-7-use-cases/>



Дарија Гаврић рођена је у Љубовији 1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство – Интеграција вештачке интелигенције у грађевинарству одбранила је 2024.год.
Контакт: gavricdaria7@gmail.com

ПРИМЕНА КАМЕНА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ APPLICATION OF STONE IN CONSTRUCTION

Александар Николић, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Предмет овог мастер рада је порекло, врсте, начин обраде и примена камена у грађевинарству

Кључне речи: порекло, врсте, обрада, цена

Abstract – The subject of this master thesis is origin, types, method of processing and application of stone in construction industry

Keywords: origin, types, method of processing, cost

1. УВОД

Потребе данашњег тржишта за материјалима који су естетски прихватљиви, али не и квалитетни, довеле су до тога да материјал попут камена, који је од давнина важио за јако квалитетан материјал, све мање користи. Природни камен по својим карактеристикама, чврстоћи и дуготрајности сам себи диктира век трајања. Ако гледамо са аспекта енергетске ефикасности камен је у самом врху, јер је одличан слој изолације, еколошки је поуздан материјал и у складу са нормама. Камен својом текстуром, разним бојама и шарама које је створила природа, даје естетски значај објекту на који се уграђује.

Природни камен има најбољи однос цене и квалитета. Данас, употреба камена у грађевинарству углавном се своди на облагање подова, степеништа, зидова, фасада, студоба или неких посебних елемената. Трошкови одржавања камена су доста мањи у односу на друге вештачке материјале што му даје додатну предност. Поред основни средстава за одржавање постоји и велики спектар премаза који штите и додатно истичу лепоту камена.

2. КАМЕН КРОЗ ИСТОРИЈУ

Употреба камена и почетак развоја људског друштва почиње појавом оруђа и савладавања вештине тесања камена. Од ког тренутка камен као материјал не престаје да се користи. Због својих карактеристика камен је имао велику примену у архитектури старих цивилизација које су изградиле објекте који и данас сведоче о издржљивости и трајности камена.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор проф. др. Владимир Мученски

Још у средњем веку постојале су групе мајстора зидара који су путовали од града до града и од државе до државе. Једну групу зидара чинили су главни мајстор који је имао једног или два помоћника и неколико шегрта. У зависности од количине посла главни мајстори су додатну радну снагу налазили у месту или околини где се налазило градилиште.

Главни мајстор је имао титулу протомјастора, која се добија некон вишегодишњег рада и изведених грађевина. Положај протомјастора био је регулисан **Дубровачким статутом** из 1272. године. Да би се добила ова титула полагала се нека врста државног испита. Носиоц ове титуле имао је улогу данашњег дипломираног инжењера. Његов задатак је био да прати и контролише грађење, оцењује изведене радове и да даје савете везано за грађевинарство. Алатке које су користили мајстори у средњем веку су сличне онима које се користе данас. Чекић и длето су основни алат који се користио за обраду камена. Квалитет изведених радова зависио је од искуства и умећа мајстора као и самог материјала који се користио за зидање. Контрола у току зидања се вршила вертикалним и хоризонталним виском, угаоником и троуглом.

3. ПОРЕКЛО И ВРСТЕ КАМЕНА

3.1 Врсте стена

Камен се добија од разних врста стена. По постанку стене се деле на:

1. магматске
2. седиментне
3. метаморфне

Грађевински камен добијамо током експлоатација која се врши у каменоломима-мајданима коришћењем различитих метода. При експлоатацији камена најчешће се прво минирањем одламају крупни комади стена, а затим се ови комади режу, цепају, ломе или мељу на ситније комаде у зависности од намена. Често се захтева, у зависности од намене, да камене плоче буду вез пукотина, у том случају се током експлоатације искључује минирање, већ се она врши искључиво резањем или цепањем.^[3]

3.2 Најчешће врсте камена које су користе у грађевинарству

Типови камена:

- | | |
|--------------|-----------|
| 1. Алабастер | 6. Оникс |
| 2. Базалт | 7. Кварц |
| 3. Гранит | 8. Пешчар |

4. Кречњак
5. Мермер

9. Шкриљац
10. Травентин

1. Алабастер

Ситнозрнасти минерал–гипс. Због његове прозирне структуре, има велику примену и ентеријеру али је скуп и редак. ^[3]

2. Базалт

Тврда и компактна изливна магматска стена, тамносиве и црне боје. Користи се као агрегат, док се плоче које су полиране могу користити за споменике, поплочавање и друге предмете. ^[3]

3. Гранит

Дубинска магматска стена која настаје хлађењем и очвршћавањем магме и заступљена је у земљиној кори. У зависности од минарела боја може да варира од светлосиве до црне, зелене или плаве. Његове физичко-механичке карактеристике чине га погодним за израду плочица, камина и степеништа као и за спољашњу употребу. ^[3]

4. Кречњак

Најраспрострањеније карбонатне седимантне стене, састављене од калцита и могу садржати хемијске примесе гвожђа, магнезијума, глине, песка и др. Основна примена кречњака је у производњи цемента – портланд цемент, можемо га корисити и као подлогу за путеве или облагање кровова, хемијска сировина за проиловну креча.

5. Мермер

Метаморфна стена настала поновном кристализацијом кречњака и доломита. Користи се као грађевински материјал и користимо га као плочице за облагање подова, степеништа, зидова, радних површина у кухињи или купатилу. Највеће налазиште мермера у Србији је на Венчацу код Аранђеловца. Постоји значајно налазиште у златиборском округу, у селима Скржути, Сирогојно и Каленић.

6. Оникс

Варијетет калцедона (калцедон је минерал, криптокристал, који је настао међусобним урастањем кристала минерала кварца и моганита) са пругама које су беле и црне. Доступан је у многим бојама. Главна лежишта овог минерала су у Јужној Америци, Мексику, Индији и на Мадагаскару. Нека истраживања показују да се може наћи и у Србији, на Фрушкој гори. ^[3]

7. Кварц

Један од најчвршћих материјала на планети. Има већу отпорност на огреботине од гранита и не може лако да се сломи. Одличан је за уградњу на различите површине, као што су подови и степенице. ^[3]

8. Пешчар

Седиментна стена изграђена од кластичних зрна кварца, љуспина, мусковита и фелдспата. Неки

пешчари су отпорни на утицај атмосферских прилика. Може се користити за поплочавања и погодан је за спољну употребу.

9. Шкриљац

Ситнозрна метаморфна стена која се формира када је седиментна стена изложена високом притиску. Отпоран је на утицај атмосферских прилика, има велику чврстоћу и ниску апсорпцију воде и добро подноси ниске температуре. Има велику примену у ентеријеру где се користи за подне плочице, степениште, кухиње. ^[3]

10. Травентин

Врста кречњака који настаје брзим таложењем калцијум карбоната. Карактеришу га ситне рупе и удубљења на површини. Рупе и шупљине попуњавамо фуг масом. Има веома честу примену у изради фасада, зидних облога и подова као и за израду купатила. ^[3]

11. Вештачки камен

Састоје од 93% млевеног природног камена (мермер, гранит...) комбинованим са специјално формулисаним полимером који обезбеђује већу чврстину и издржљивост као што је то случај са традиционалним каменом. Обрађује се на исти начин као и природни камен. Доступан је у широком спектру боја и образаца. Користи се подједнако у ентеријеру и екстеријеру.

4. КАРАКТЕРИСТИКЕ КАМЕНА КАО ГРАЂЕВИНСКОГ МАТЕРИЈАЛА

Како би што боље и правилније искористили камен потребно је да знамо како се он понаша у одређеним околностима и разним утицајима који могу да делују на њега. Другим речима, потребно је да знамо његове физичке, механичке као и хемијске особине. Неке од важнијих карактеристика камена су:

4.1.1 Боја камена

Од врсте и боје минерала зависи и боја камена, како они могу бити безбојни или различитих боја тако имамо и мноштво различитих боја камена. Минерали могу имати своју боју или она може настати од разних примеса. ^[4]

4.1.2 Текстура камена

У зависности од распореда минералних састојака које се налазе у камену зависи и сама текстура и шаре на камену. Структура камена може бити крупнозрна или ситнозрна и компактна.

4.1.3 Запреминска тежина камена

Запреминска тежина камена представља тежину камена по јединици мере, заједно са свим шупљинама и порама. запреминска тежине се креће у интервалу од 1400-5500 [кг/м³]

4.1.4 Специфична тежина камена

Специфична тежина камена представља тежину камена по јединици мере без шупљина и пора. Изражава се у кг/м³ ^[4]

4.1.5 Порозност камена

Порозност камена представља збир свих шупљина и пора у јединици запремине.^[4]

4.1.6 Упијање воде

Упијање воде је способност камена да воду задржи у својој маси. Која количина воде ће бити упијена зависи од структуре камена, распореду шупљина и пора и времену током којег је камен био изложен води.^[4]

4.1.7 Водопропустљивост камена-

Водопропустљивост камена се одређује према количини воде која прође кроз узорак јасно дефинисаних димензија за одређено време при утврђеном воденом притиску, засиви од густине камена, величине и распореда шупљина и пора. [4]

4.1.8 Чврстоћа на притисак

Чврстоћа камена на притисак је гранична вредност при којој се камени примерак ломи када се на његову површину од 1 мм² примени аксијална сила од 1 Nm. Вредности чврстоће на притисак се крећу у интервалу од 80 до 250 МПа.

4.1.9 Чврстоћа на савијање

Испитивање чврстоће на притисак се врши тако што камену плочу која је ослоњена на крајевима оптеретимо силом која делује на средину тог узорака. Вредност чврстоће на савијање се креће од 7-20% чврстоће на притисак истог материјала, односно од 0.5-25 МПа.

4.1.10 Отпорност на хабање

Отпорност на хабање је вредност при којој долази до оштећења услед трења на површини камена. Камен се може поделити у неколико група: изузетно тврд, веома тврд, тврд, умерено тврд и мек.^[4]

4.2 Тврдоћа камена

Тврдоћа камена, зависи од тврдоће минерала и везивног материјала и представља отпорност камена против парања неким другим тврдим материјалом или предметом. За утврђивање тврдоће минерала се користи Мосова скала тврдоће на којој су различите врсте минерала поређање по степену тврдоће. За потребе грађевинских радова тврдоћа камена се испитује помоћу Бринелове куглице, Шоровог склерометра или Мартенсовог склерометра.^[5]

5. ПРОЦЕС ПРОИЗВОДЊЕ И ОБРАДЕ КАМЕНА

Начин и техника обраде камена зависе од његове врсте и намене. Камен се из каменолома вади коришћењем експлозива или другом методом чиме се добијају већи блокови који се даље уситњавају резањем и цепањем. Касније се мањи комади подвргавају даљој преради коришћењем разних алата и машина.

5.1.1 Обрада каменних блокова

1. тесање
2. резање

5.1.2 Површинска обрада

- | | |
|--------------|-------------|
| 1. полирање | 5. четкање |
| 2. штоковање | 6. пекарање |
| 3. буњање | 7. брушење |
| 4. паљење | |

6. УГРАДЊА КАМЕНА

6.1 Екстеријер

Екстеријер је термин који представља спољни изглед зграде, простора или објекта. Односи се на све елементе који су видљиви са спољне стране објекта и обухватају спољне зидове, кровове, прозоре, врата, фасаду, балконе, терасе. Поред спољашности самог објекта, екстеријер обухвата и уређивање простора око објекта попут дворишта, стаза, башти, фонтана или дрвећа. Када бирамо камен за екстеријер морамо бити пажљиви и водити рачуна о његовим карактеристикама и особинама с обзиром да ће бити изложен свим спољашњим утицајима.

6.1.1 Камен за фасаде

Фасада објекта може бити цела од камена или само доњи део: цокле, приземље и/или подрум. Додатна предност каменних фасада је њихова способност да побољшају енергетску ефикасност јер камен има добра термичка својства. Камене фасаде се обично раде на два начина: први начин је када камен разним везивима лепимо директно на конструкцију, док на други начин камен постављамо на потконструкције да би се добила вентилисана фасада.

6.1.2 Уређење (попљочавање) сутерена

Када је у питању попљочавање на отвореном, једна од најважнијих ствари је припрема подлоге-тампона. Дубина ископа не би требало да буде већа од 25cm и важно је да тло буде равно и сабијено. Како би омогућили отицање воде потребно је урадити и довољно канала, шахтова и дренажних цеви.

6.1.3 Ограде од камена

Ограде имају функцију првенствено да заштите дом од налета ветрова, сметова и других временских услова али и приватност дома. Ограде могу бити зидане од каменних коцки неправилног облика, облагане ломљеним или сеченим декоративним каменом.

6.2 Ентеријер

Ентеријер се односи на уређење унутрашњег простора, обухвата све елементе као што су намештај, декорација, боје, текстура, осветљење, завезе, тепихе итд. Типови ентеријара могу бити модерно или суптилно минималистички, рустични, класични али најбитније је да буду функционални и ергономски дизајнирани како би омогућили пријатан борован у објекту.

6.2.1 Кухиње

Радни делови кухиње од природног камена важе као лепи и практични зато што могу да се изаберу

многобројне боје и текстуре. Камен за кухиње мора имати већу чврстоћу на хабање и упијање.

6.2.2 Подови и степениште од камена

Камен је добар за унутрашње подове јер је функционалан, трајан, лак и једноставан за одржавање. Због својих карактеристика мермери и гранити се користе за облагање подних површина.

6.2.3 Камини од камена

Поред мермера и гранита за облагање камина користимо и штанглице, мање или веће ширине, као и ломљени камен рустичног рељефастог облика

6.2.4 Купатила од камена

Камен је постојан у влажним и мокрым срединама и као такав одличан избор за купатила. Постоји више начина коришћења камена у купатилу, то може бити облагање зидова или као елемент попут умиваоника, лавабоа или каде.

7. АНАЛИЗА ЦЕНА ОБРАДЕ, ТРАНСПОРТА И УГРАДЊЕ КАМЕНА

Цена природног камена зависи од више фактора, пре свега на цену камена утиче цена сировине, затим сам процес и комплексност производње одређених облика и обрада. Цена уградње и постављања камена може пуно да се разликује у зависности од начина уградње као и саме технике уграђивања. Цена транспорта зависи од дужине пута и количине камена.

Табела 7.1- Цена обраде камена

Врста камена	Цена постављања и уградње камена [€/м²]
Ломљени камен	10 - 15
Штанглице	10 - 15
Декоративни камен - стандардна димензија	13 - 15
Декоративни камен - мозаик	10 - 20
Степенице	12 - 18
Буња д=2-3цм	15 - 40
Буња д=7-10-15-20цм	25 - 60
Клупице за прозоре - солбанка	10 - 20
Гранитна коцка	15 - 20
Мермерна коцка	5 - 11

Табела 7.2 – Цена уградње камена

Начин обраде	Јединична цена [€/м]	Јединична цена [€/м²]
Тесање	5	/
Резање	6	/
Полирање	/	10 - 12
Обрада канта - равно	6	/
Обрада канта - полурунд	10	/
Обрада канта - пун рунд	10 - 15	/
Штоковање	/	7
Паљење	/	12
Четкање	/	8
Пескарење	/	10

9. ЗАКЉУЧАК

Најстарији и најкоришћенији природни материјал у грађевини је несумњиво камен и као такав има велику примену у нискоградњи као и у високоградњи. По својим карактеристикама и дуготрајности камен се не може поредити ни са једним другим природним или вештачким материјалом, што га чини правим избором. Одолева свим временским условима и лак је за одржавање. Постоје многи начини како природни камен можемо употребити у ентеријеру или екстеријеру, било као главни или украсни материјал, зато ако се одлучите да искористите природни камен у вашем објекту на било који начин, никако не можете погрешити.

10. ЛИТЕРАТУРА

- <https://www.gradnja.rs/sporije-ali-temeljnije-kako-su-se-zidala-srednjevokna-zdanja-na-tlu-srbije/>
- <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/393/820/kamen-u-gradjevinarstvu>
- https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Types_of_stone
- <https://www.gradnja.me/clanak/161/Fizi%C4%8Dke-osobine-kamena-kao-gra%C4%91evinskog-materijala>
- <https://www.gradnja.me/clanak/158/%C5%A0ta-je-tvrdo%C4%87a-kamena-od-%C4%8Dega-zavisi-i-kako-se-mjeri>
- <https://www.gradnja.me/clanak/155/Naj%C4%8De%C5%A1%C4%87i-na%C4%8Dini-obrade-kamena>

Кратка биографија:



Александар Николић, рођен у Ужицу 5.7.1997. год. Основне академске студије завршио на Грађевинском факултету у Новом Саду. Мастер академске студије, на истом факултету, уписао 2023. год. смер Организација и технологија грађења.

NELINEARNA STATIČKA ANALIZA ZIDANE ZGRADE P+4 U NOVOM SADU**NONLINEAR STATIC ANALYSIS OF A MASONRY BUILDING GF+4 IN NOVI SAD***Srđan Bakić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je sprovedena nelinearna statička analiza višespratne zidane zgrade spratnosti (P+4) na području Novog Sada, prema Evrokod standardima. Trodimenzionalni matematički model formiran je primenom ekvivalentnih okvira. Nivo seizmičkog dejstva (ubrzanje tla) je postepeno uvećavan kako bi se dobio krajnji seizmički kapacitet objekta. Pri analizi su u obzir uzeta dva rasporeda seizmičkih sila za glavne pravce objekta. Proračunate su vrednosti faktora prekoračenja (OSR), duktilnosti (μ) i faktora ponašanja (q), i upoređene su sa vrednostima dobijenim u softveru, i sa vrednostima datim u Evrokodu.

Ključne reči: višespratna zidana zgrada, model ekvivalentnog okvira, pushover analiza, OSR faktor, q faktor, Evrokod

Abstract – The study presents a nonlinear static analysis of a multi-story masonry building (GF+4) situated in Novi Sad, according to Eurocode standards. A three-dimensional mathematical model was formed using equivalent frames. The seismic intensity (ground acceleration) was incrementally increased to determine the structure's ultimate seismic capacity. Two configurations of seismic forces for the main directions of the building were considered during the analysis. Calculations were conducted to assess the overstrength ratio (OSR), ductility (μ), and behavior factor (q), and the values were compared with values derived from software, and with values given in Eurocode.

Keywords: multi-storey masonry building, equivalent frame model, pushover analysis, OSR factor, q factor, Eurocode

1. UVOD

Zidani objekti su u prošlosti bili najzastupljeniji tipovi građevinskih objekata. Svoju dugu tradiciju zidanje pripisuje svojoj jednostavnosti i dugovečnosti zidanih konstrukcija. Brojni su primjeri takve gradnje u starom Egiptu, Rimu, Grčkoj te drugim civilizacijama i kulturama. U savremenoj građevinskoj praksi, zidane konstrukcije više nisu toliko zastupljene kao u prošlosti. Međutim, iako nemaju primenu u industrijskim i inženjerskim objektima, niti u većim stambeno-poslovnim objektima, zidane konstrukcije su našle široku primenu kao manji stambeni objekti ili u individualnoj gradnji.

Evrokod 6 daje opšta pravila za projektovanje nearmiranih i armiranih zidanih zgrada, a u Evrokodu 8 nalaze se dodatna pravila koja se odnose na projektovanje zidanih zgrada u seizmički aktivnim područjima [1-3].

2. OPIS OBJEKTA

Projektnim zadatkom predviđena je analiza stambenog objekta spratnosti P+4 sprata. Lokacija predmetnog objekta je Novi Sad.

Predmetni objekat se nalazi na katastarskoj parceli broj 0264/1, K.O. Novi Sad IV, ulica Stanoja Stanojevića bb. u Novom Sadu. Površina građevinske parcele br. 256 m². Planirani objekat je kvadratnog oblika, slobodno stojeći u blokovskoj gradnji, i to tako da se građevinska i regulaciona linija poklapaju. Objekat ima 24 stambenih jedinica. Objekat je u osnovi dimenzija 18,66 m x 18,60 m i visine 14,75 m. Prizemni deo objekta je visine 2,85 m, dok su ostale etaže 2,75 m.

Predmetni objekat je masivnog konstruktivnog sistema, izrađen od zidova zidanih blokom Poroherm 25S i 38S koji su ukruženi horizontalnim i vertikalnim serklažima. Blokovi su u sklopu zida povezani malterom opšte namene M10 (čvrstoća 10 MPa) preko horizontalnih i vertikalnih spojnica.

Vrednost savojne i poprečne krutosti zidova i armiranog betona je uzeta kao $\frac{1}{2}$ stvarne, kako bi se simulirala isprskalost preseka. Svi armiranobetonski elementi u konstrukciji su betonirani betonom klase C 25/30. Vertikalni serklaži su dimenzija 25x25 i 38x38 cm. Horizontalni serklaži se oslanjaju na noseće zidove a njihova visina odgovara visinama tavanica. Dimenzije horizontalnih serklaža su 20x25 i 20x38 cm. Serklaži su armirani sa 4Ø12 i UØ8/15 cm.

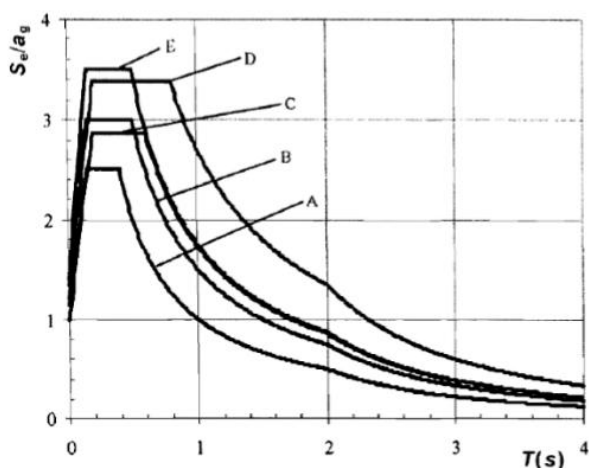
Projektom je predviđena AB međuspratna ploča debljine $d=20$ cm izvedena betonom klase C25/30 i armirana u obe zone armaturom Q335. Krovna ploča je izvedena kao AB ploča debljine 20 cm, sa minimalnim potrebnom nagibima za odvod atmosferilija.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Na objekat pored sebstvene težine djeluju i sledeća opterećenja: dodatno stalno opterećenje čija je vrednost 1,18 kN/m², odnosno 1,47 kN/m²; promenljivo opterećenje koje iznosi 2,50 kN/m² na međuspratnim tavanicama, dok na krovnoj ploči iznosi 1,00 kN/m²; opterećenje snegom je 1,0 kN/m². Seizmičko opterećenje je izraženo preko spektra odgovora tip 1 (Slika 1), tip tla je B.

NAPOMENA:

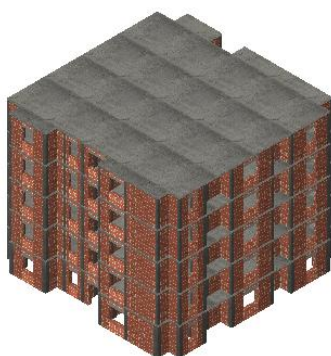
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio vanr. prof. dr Vladimir Vukobratović.



Slika 1. Preporučeni tip 1 elastični spektra odgovora za kategorije tla A do E (5% prigušenja)

4. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE I OPTEREĆENJA

Objekat je modeliran kao trodimenzionalan (3D) u programu AmQuake (Slika 2). Za modeliranje konstrukcije korišćen je model ekvivalentnog okvira, gde su svi elementi konstrukcije, osim međuspratnih ploča, prikazani kao 1D elementi. Kao vertikalni gredni elementi prikazani su noseći zidovi i vertikalni serklaži, dok su kao horizontalni gredni elementi modelirani parapeti, horizontalni serklaži, natprozorne i nadvratne grede. Međuspratne tavanice su u svojoj ravni beskonačno krute i obezbeđuju kompatibilnost horizontalnih pomeranja svih čvorova tj. zidova koje povezuju [4].



Slika 2. 3D model zgrade

U Evrokodu razlikujemo stalno (GO), dodatno stalno (G1) i korisno (Q), te ga tako zadajemo i u programu. Stalno opterećenje odnosi se na konstantna opterećenja koja su prisutna na objektu tokom celog veka njegove eksploatacije. Promenljiva opterećenja - korisno opterećenje i opterećenje snegom prikazana su kao jednakopodeljena opterećenja po površini međuspratnih ploča, odnosno krovne ploče. Pored intenziteta opterećenja u ovom prozoru definišu se i vrednosti koeficijenata za kombinacije opterećenja.

Na modelu je varirano ubrzanje i vršena je provera za koje maksimalno ubrzanje bi zgrada imala zadovoljavajući odgovor. Klasa značaja objekta je II i faktor $\gamma_I = 1,0$.

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I \quad (1)$$

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,10 \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 1,0 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,12 \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 1,2 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,13 \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 1,3 \frac{m}{s^2}$$

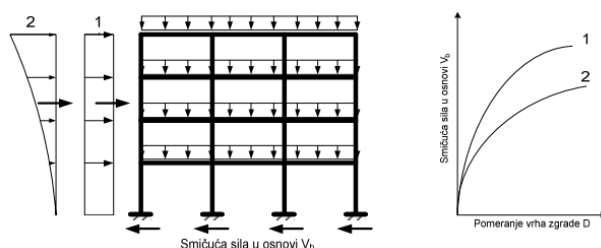
5. PUSHOVER ANALIZA

Pushover analiza primenjuje se za verifikaciju performansi novoprojektovanih i postojećih zgrada u sledeće svrhe:

1. da se provere ili revidiraju vrednosti odnosa prekoračenja α_u/α_1 ;
2. da se proceni očekivani plastični mehanizam i raspodela oštećenja;
3. da se oceni konstrukcijsko ponašanje postojećih ili rekonstruisanih zgrada za potrebe Evrokoda EN 1998-3;
4. kao alternativa proračunu koji je zasnovan na linearno-elastičnoj analizi koja koristi faktor ponašanja q . U tom slučaju, ciljna pomeranja treba da se koriste kao osnova proračuna.

Glavni princip metode je praćenje odgovora konstrukcije za rastuću horizontalnu silu uz konstantno vertikalno opterećenje. Iz dobijenog odnosa horizontalne sile i referentnog pomeranja može se odrediti seizmička otpornost konstrukcije. [5].

Neophodno je primeniti dve vertikalne raspodele bočnih sila ravnomerne raspodele, gde su bočne sile proporcionalne masama bez obzira na visinski položaj i modalnu raspodelu gde su bočne sile u skladu sa raspodelom sila pri elastičnoj analizi (Slika 3). Nepovoljniji rezultati se usvajaju kao merodavni.

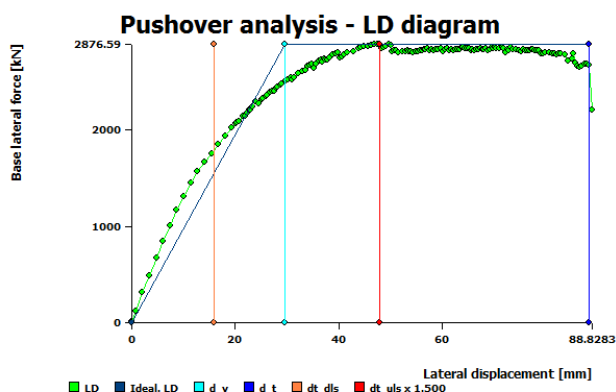


Slika 3. Raspodela bočnih sila za pushover analizu [6]

6. REZULTATI PRORAČUNA

Postupno guranje je vršeno na prostornom modelu konstrukcije u X i Y pravcu. Na osnovu dobijenih rezultata iz softvera: faktora prekoračenja (overstrenght factor - OSR) i duktilnosti izračunava se faktor ponašanja q , koji se upoređuje sa njegovim preporučenim vrednostima za zidane konstrukcije definisanim u Evrokodu 8.

U Tabeli 1 je dat prikaz rezultata pushover analize (prikazane Slikom 4).



Slika 4. Slučaj opterećenja - X^+ , exc. pos, uni – GSN – $a_g = 1,0 \text{ m/s}^2$; GSU – $a_g = 0,5 \text{ m/s}^2$

Tabela 1. Rezultati pushover analize, X^+ , exc. pos, uni

Ciljno pomeranje za GSU - dt_{dls}	15,981	[mm]
Kapacitet za GSU - dc_{dls}	57,612	[mm]
Ciljno pomeranje za GSN - dt_{uls}	47,944	[mm]
Kapacitet za GSN - dc_{uls}	88,371	[mm]
Period - T	0,781	[s]
Maksimalno referentno ubrzanje tla - a_g	1,843	[m/s ²]
Duktilnost - μ	3,217	/
Faktor prekoračenja - OSR	2,876	/
Elastično pomeranje - dy	29,594	[mm]

7. RUČNA VERIFIKACIJA REZULTATA

7.1 Ciljna pomeranja i kapaciteti za ULS i DLS

Ciljno pomjeranje u analizi pushover krive predstavlja maksimalno dopušteno pomjeranje (deformaciju) koje konstrukcija može doživjeti pri određenim zemljotresnim dejstvima. Ciljno pomeranje se definiše kao seizmički zahtev određen iz elastičnog spektra odgovora, preko pomeranja ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode kretanja. AmQuake koristi N2 metodu za određivanje ciljnog pomeranja.

Kapacitetom konstrukcije se smatra pomeranje pri kome je prekoračen kriterijum:

$$F_{b,i} \leq 0,8 \cdot F_{b,max} \quad (2)$$

$F_{b,i}$ - smičuća sila u osnovi zgrade pri kojoj dolazi do progresivnog oštećenja i loma pojedinih elemenata sistema za prijem bočnog opterećenja; $F_{b,max}$ - maksimalna nosivost zgrade. Za pomeranje $d_{max} = 88,828 \text{ mm}$ sila $F_{b,i}$ ima vrednost od 2189,82 kN a $F_{b,max}$ ima vrednost od 2876,59 kN, tako da je traženi uslov zadovoljen.

7.2 Određivanje maksimalnog ubrzanja a_g

$$a_g = \frac{S_e(T^*)}{S^* \eta * 2,5 * \left(\frac{T_c}{T^*}\right)} \quad (3)$$

Dobijene vrednosti maksimalnih mogućih ubrzanja su prikazane u tabeli (Tabela 2).

Tabela 2. Vrednosti ubrzanja

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	a_g [m/s ²]	AmQuake
Uniformni raspored	X^+ , exc. pos	1.843	1.843
	X^+ , exc. neg	1.810	1.81
	X^- , exc. pos	1.601	1.6
	X^- , exc. neg	1.625	1.624
	Y^+ , exc. pos	2.171	2.171
	Y^+ , exc. neg	1.603	1.602
	Y^- , exc. pos	1.916	1.916
	Y^- , exc. neg	1.919	1.918
Modalni raspored	X^+ , exc. pos	1.675	1.674
	X^+ , exc. neg	1.428	1.428
	X^- , exc. pos	1.307	1.308
	X^- , exc. neg	1.377	1.377
	Y^+ , exc. pos	1.872	1.872
	Y^+ , exc. neg	1.709	1.709
	Y^- , exc. pos	1.503	1.503
	Y^- , exc. neg	1.445	1.445

7.3 Duktilnost μ

Duktilnost je karakteristika materijala koja se meri stepenom plastične deformacije koju materijal može podneti pre nego što dođe do prelaska između elastičnog i plastičnog deformisanja ili pre nego što dođe do konačnog loma. Duktilnost se računa prema sledećem izrazu:

$$\mu = \frac{d_{max}}{d_y} \quad (4)$$

d_{max} - kapacitet konstrukcije za MDOF sistem;

d_y - pomeranje na granici tečenja za MDOF sistem;

Dobijene vrednosti duktilnosti su prikazane u Tabeli 3.

Tabela 3. Vrednosti duktilnosti

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	μ	AmQuake (μ/Γ)
Uniformni raspored	X^+ , exc. pos	2.986	2.987
	X^+ , exc. neg	2.828	2.828
	X^- , exc. pos	2.693	2.694
	X^- , exc. neg	2.617	2.617
	Y^+ , exc. pos	3.539	3.539
	Y^+ , exc. neg	2.603	2.604
	Y^- , exc. pos	2.867	2.867
	Y^- , exc. neg	2.944	2.944
Modalni raspored	X^+ , exc. pos	3.014	3.013
	X^+ , exc. neg	2.404	2.433
	X^- , exc. pos	2.433	2.432
	X^- , exc. neg	2.439	2.439
	Y^+ , exc. pos	3.347	3.346
	Y^+ , exc. neg	3.171	3.170
	Y^- , exc. pos	2.476	2.476
	Y^- , exc. neg	2.412	2.411

7.4 Faktor prekoračenja OSR

Faktor prekoračenja OSR se izražava preko odnosa F_y/F_{el} ili a_u/a_l .

$$OSR = \frac{F_y}{F_{el}} \quad (5)$$

F_y - granična smičuća sila na idealizovanoj bilineralnoj krivi; F_{el} - smičuća sila pri kojoj se formira prvi plastični zglob.

Faktor prekoračenja (ili faktor bezbednosti) zavisi od različitih faktora koji uključuju karakteristike materijala, vrstu opterećenja, životni vek konstrukcije, krutost tavanica u svojoj ravni, pretpostavke o modeliranju veznih elemenata, veze između konstruktivnih elemenata.

Niže vrednosti faktora prekoračenja merodavne su u pushover analizi, odnosno u našem slučaju merodavna je uniformna raspodela bočnih sila.

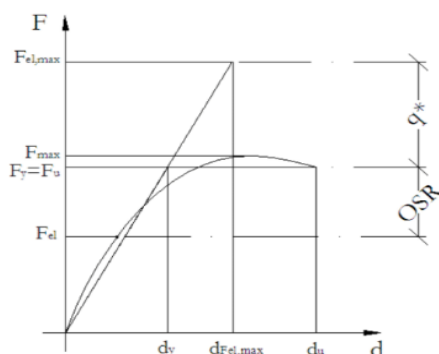
Tabela 4. Vrednosti faktora prekoračenja OSR

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	F _y [kN]	F _{el} [kN]	OSR	AmQuake
Uniformni raspored	X+, exc. pos	2876.59	1,001.07	2.874	2.876
	X+, exc. neg	2939.24	1,132.77	2.595	2.600
	X-, exc. pos	2701.41	989.27	2.731	2.730
	X-, exc. neg	2780.51	968.50	2.871	2.873
	Y+, exc. pos	2827.78	1,120.79	2.523	2.523
	Y+, exc. neg	2838.46	956.66	2.967	2.969
	Y-, exc. pos	3214.45	1,159.34	2.773	2.775
	Y-, exc. neg	3193.94	1,167.86	2.735	2.735
Modalni raspored	X+, exc. pos	2265.58	872.08	2.598	2.599
	X+, exc. neg	2340.36	854.45	2.739	2.740
	X-, exc. pos	2148.98	745.13	2.884	2.886
	X-, exc. neg	2215.35	729.07	3.039	3.045
	Y+, exc. pos	2233.22	842.34	2.651	2.650
	Y+, exc. neg	2191.03	851.64	2.573	2.574
	Y-, exc. pos	2565.9	874.45	2.934	2.936
	Y-, exc. neg	2558.95	884.77	2.892	2.893

7.5 Faktor ponašanja q

Faktor ponašanja predstavlja numerički parametar koji odražava očekivano ponašanje konstrukcije pod dejstvom opterećenja.

Faktor ponašanja q predstavlja približnu vrednost odnosa između seizmičkih sila koje bi delovale na konstrukciju kada bi njen odgovor bio potpuno elastičan ($F_{el,max}$) sa 5% relativnog viskoznog prigušenja i sila koje se koriste u analizi (F_{el}) koristeći uobičajeni linearno-elastični model. Ovaj faktor osigurava zadovoljavajući odgovor konstrukcije (Slika 5). Vrednost faktora ponašanja može da bude različita za različite horizontalne pravce konstrukcije, iako će klasifikacija duktilnosti da bude ista za sve pravce [5].



Slika 5. Parametri za definiciju faktora ponašanja q (F - bazna smičuća sila, d - pomeranje kontrolne tačke)

Za zidane konstrukcije, kao što je to slučaj i kod drugih tipova konstrukcija (armiranobetonske i čelične), u definiciji faktora ponašanja q potrebno je uzeti u obzir ojačanje konstrukcije preko odnosa prekoračenja (OSR). Faktor ponašanja q se tada može definisati na sledeći način:

$$q = \frac{F_{el,max}}{F_{el}} = \frac{F_{el,max}}{F_y} \cdot \frac{F_y}{F_{el}} = q^* \cdot OSR \quad (6)$$

q^* - osnovna vrednost faktora ponašanja koja uzima u obzir disipativnu sposobnost konstrukcije pomnožena sa koeficijentom prekoračenja OSR.

Tabela 6. Vrednosti faktora ponašanja prema EC8-1

Način gradjenja	q
Nearmirani zidovi prema EC6, slučaj niske seizmičnosti	1.5
Nearmirani zidovi prema EC8	1.5 – 2.5
Zidovi sa serklažima	2.0 – 3.0
Armirani zidovi	2.5 – 3.0

Tabela 5. Vrednosti faktora ponašanja q

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	$q^*=\mu$	OSR	q
Uniformni raspored	X+, exc. pos	2.986	2.874	8.582
	X+, exc. neg	2.828	2.595	7.339
	X-, exc. pos	2.693	2.731	7.355
	X-, exc. neg	2.617	2.871	7.513
	Y+, exc. pos	3.539	2.523	8.929
	Y+, exc. neg	2.603	2.967	7.723
	Y-, exc. pos	2.867	2.773	7.950
	Y-, exc. neg	2.944	2.735	8.052
Modalni raspored	X+, exc. pos	3.014	2.598	7.830
	X+, exc. neg	2.404	2.739	6.585
	X-, exc. pos	2.433	2.884	7.017
	X-, exc. neg	2.439	3.039	7.412
	Y+, exc. pos	3.347	2.651	8.873
	Y+, exc. neg	3.171	2.573	8.159
	Y-, exc. pos	2.476	2.934	7.265
	Y-, exc. neg	2.412	2.892	6.976

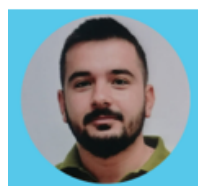
Dobijene vrijednosti faktora ponašanja se kreću u intervalu od 6,6 do 8,9. Veće vrednosti su dobijene za pozitivan pravac delovanja opterećenja. Dobijene vrednosti su veće od vrednosti preporučenih u EC8-1.

8. ZAKLJUČAK

Nakon odrađenog proračuna konstrukcije prema odredbama Evrokodova utvrđeno je da svi elementi zadovoljavaju kriterijume u pogledu nosivosti. Kao što je rečeno na početku rada, jedan od glavnih problema zidanih konstrukcija je mala seizmička otpornost. Zidani zidovi sa većim ukupnim vertikalnim opterećenjem imaju veću graničnu nosivost na delovanje horizontalnih sila. U odnosu na zidove bez otvora, zidovi sa otvorima mogu imati značajno veća pomeranja i manju graničnu nosivost, zavisno od veličine i položaja otvora. Uticaj serklaža kod zidanih zidova sa otvorima je veći od onog kod zidova bez otvora. Zidovi bez vertikalnih serklaža imaju znatno manju graničnu nosivost od istih zidova sa vertikalnim serklažima. Kao što se i do sada događalo, i u ovom slučaju su se oštećenja konstrukcije pojavila u delovima oko otvora, jer prvobitno na tim mestima dolazi do pojave smičućeg loma (pojava dijagonalnih X prslina).

9. LITERATURA

- [1] EN 1996-1-1 : 2005– Evrokod 6 „Proračun zidanih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009.
- [2] EN 1998-1 : 2004 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009.
- [3] Stevanović Boško, Lađinović Đorđe: „Osnovni principi i pravila projektovanja, proračuna i izgradnje zidanih zgrada prema EC 6 i EC 8”, Pregledni rad.
- [4] Vukobratović Vladimir: „Materijal za predavanja iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”.
- [5] Lađinović Đorđe: „Savremene metode seizmičke analize konstrukcija zgrada“, Pregledni rad, 2008.
- [6] Manojlović Dragan: „Materijal za vežbe iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”.



Kratka biografija: Srđan Bakić – rođen u Banja Luci 1997. godine. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka završio je 2021. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Zidane konstrukcije odbranio je 2024. godine. Kontakt: bakic1997@gmail.com.

NELINEARNA STATIČKA ANALIZA ZIDANE ZGRADE Po+P+4 U VALJEVU**NONLINEAR STATIC ANALYSIS OF A MASONRY BUILDING B+GF+4 IN VALJEVO***David Radojević, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je sprovedena nelinearna statička analiza višespratne zidane zgrade spratnosti (Po+P+4) na području Valjeva, prema Evrokod standardima. Trodimenzionalni matematički model formiran je primenom ekvivalentnih okvira. Nivo seizmičkog dejstva (ubrzanje tla) je postepeno uvećavan kako bi se dobio krajnji seizmički kapacitet objekta. Pri analizi su u obzir uzeta dva rasporeda seizmičkih sila za glavne pravce objekta. Proračunate su vrednosti faktora prekoračenja (OSR), duktilnosti (μ) i faktora ponašanja (q), i upoređene su sa vrednostima dobijenim u softveru, i sa vrednostima datim u Evrokodu.

Ključne reči: višespratna zidana zgrada, model ekvivalentnog okvira, pushover analiza, OSR faktor, q faktor, Evrokod

Abstract – The study presents a nonlinear static analysis of a multi-story masonry building (B+GF+4) situated in Valjevo, according to Eurocode standards. A three-dimensional mathematical model was formed using equivalent frames. The seismic intensity (ground acceleration) was incrementally increased to determine the structure's ultimate seismic capacity. Two configurations of seismic forces for the main directions of the building were considered during the analysis. Calculations were conducted to assess the overstrength ratio (OSR), ductility (μ), and behavior factor (q), and the values were compared with values derived from software, and with values given in Eurocode.

Keywords: multi-storey masonry building, equivalent frame model, pushover analysis, OSR factor, q factor, Eurocode

1. UVOD

Zidane konstrukcije su tradicionalno bile popularne zbog jednostavne gradnje, dugotrajnosti i otpornosti na požar, temperaturu i vremenske uslove. Međutim, one imaju slabosti u pogledu seizmičke otpornosti zbog velike mase, niske zatezne čvrstoće i smanjene duktilnosti, što ih čini manje otpornim na potrese u poređenju s armiranobetonskim i čeličnim zgradama. Pre 20. veka, zidane konstrukcije su građene bez detaljnih proračuna, ali današnji propisi, poput Evrokoda 6 i 8, postavljaju stroge smernice za njihovu seizmičku otpornost. Iako se softveri koriste za proračune, postoji prostor za napredak u analizi seizmičkog ponašanja ovih konstrukcija.

NAPOMENA:

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

2. OPIS OBJEKTA

Projektuje se stambeni objekat spratnosti Pr+4 u okolini Valjeva, dimenzija osnove 39,1x16,7 metara i visine 15,91 metar. Zgrada je namenjena isključivo za stanovanje, sa osam stanova po spratu, pri čemu svaki sprat ima identičan raspored prostorija. Vertikalna komunikacija se ostvaruje pomoću dva lifta i dva stepeništa, dok je na svakom spratu hodnik koji obezbeđuje horizontalnu komunikaciju.

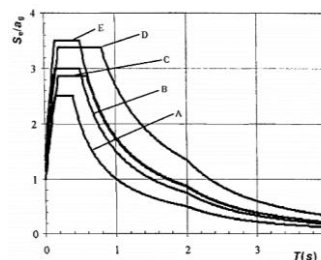
Spoljašnji zidovi su obloženi izolacionim slojem stiropora debljine 10 mm. Krov je ravna armiranobetonska ploča debljine 20 cm. Pregradni zidovi unutar objekta su od blokova debljine 12 cm, što pruža odgovarajuću zvučnu i termičku izolaciju između stanova. Temelji objekta su armiranobetonska ploča debljine 40 cm, čime se osigurava stabilnost i dugovečnost zgrade.

U konstruktivnom smislu objekat je masivnog sistema, izrađen od zidanih zidova koji su ukrućeni horizontalnim i vertikalnim serklažima. Noseći zidovi u prizemlju su debljine 38cm, dok su na spratovima 25cm. Svi armiranobetonski elementi u konstrukciji su betonirani betonom klase C 25/30. Vertikalni serklaži su dimenzija 38x38 i 25x25 cm. Horizontalni serklaži se oslanjaju na noseće zidove a njihova visina odgovara visinama tavanica. Dimenzije horizontalnih serklaža su 25x20 i 38x20 cm. Serklaži su armirani sa 4Ø12 i UØ8/15 cm.

Projektom je predviđena AB međuspratna i krovna ploča debljine 20 cm, izvedena betonom klase C25/30 i armirana u obe zone armaturom Q335.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Na objekat pored sopstvene težine deluju i sledeća opterećenja: dodatno stalno opterećenje čija je vrednost 1,145 kN/m², odnosno 1,56 kN/m²; promenljivo opterećenje koje iznosi 2,50 kN/m² na međuspratnim tavanicama, dok na krovnoj ploči iznosi 1,00 kN/m²; opterećenje snegom je 1 kN/m². Seizmičko opterećenje je izraženo preko spektra odgovora tip 1 (Slika 1), tip tla je B.



Slika 1. Preporučeni tip 1 elastičnog spektra odgovora za kategorije tla A do E (5% prigušenja)

4. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE I OPTEREĆENJA

Objekat je modeliran kao trodimenzionalan (3D) u programu AmQuake (Slika 2). Za modeliranje konstrukcije korišćen je model ekvivalentnog okvira, gde su svi elementi konstrukcije, osim međuspratnih ploča, prikazani kao 1D elementi. Kao vertikalni gredni elementi prikazani su noseći zidovi i vertikalni serklaži, dok su kao horizontalni gredni elementi modelirani parapeti, horizontalni serklaži, natprozorne i nadvratne grede. Međuspratne tavanice su u svojoj ravni beskonačno krute i obezbeđuju kompatibilnost horizontalnih pomeranja svih čvorova tj. zidova koje povezuju.



Slika 2. 3D model zgrade

U Evrokodu razlikujemo stalno (GO), dodatno stalno (G1) i korisno (Q), te ga tako zadajemo i u programu. Stalno opterećenje odnosi se na konstantna opterećenja koja su prisutna na objektu tokom celog veka njegove eksploatacije. Promenljiva opterećenja - korisno opterećenje i opterećenje snegom prikazana su kao jednakopodeljena opterećenja po površini međuspratnih ploča, odnosno krovne ploče. Pored intenziteta opterećenja u ovom prozoru definišu se i vrednosti koeficijenata za kombinacije opterećenja.

Na modelu je varirano ubrzanje i vršena je provera za koje maksimalno ubrzanje bi zgrada imala zadovoljavajući odgovor. Klasa značaja objekta je II i faktor $\gamma_I = 1,0$.

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,10 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1,0 = 1,0 \frac{m}{s^2}$$

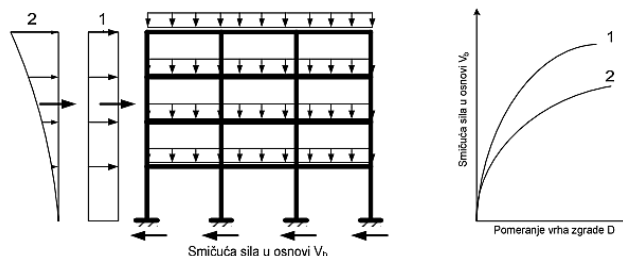
$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,12 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1,0 = 1,2 \frac{m}{s^2}$$

5. PUSHOVER ANALIZA

Metoda postupnog guranja, odnosno pushover metoda, je nelinearna statička metoda proračuna novih ili postojećih objekata. Glavni princip metode je praćenje odgovora konstrukcije za rastuću horizontalnu silu uz konstantno vertikalno opterećenje. Iz dobijenog odnosa horizontalne sile i referentnog pomeranja može se odrediti seizmička otpornost konstrukcije. Za konstrukcije koje zadovoljavaju uslove regularnosti u osnovi analiza se može primeniti na dva ravanska modela, dok se za slučaj neregularnosti mora upotrebiti prostorni model konstrukcije. Nema ograničenja po pitanju regularnosti konstrukcije po visini. Nelinearna statička analiza se sprovodi pod konstantnim gravitacionim opterećenjem primenom monotono rastućeg horizontalnog opterećenja. Horizontalno opterećenje je pretpostavljeno sa odgovarajućom raspodelom po visini i povećava se

monotono od nula do krajnje vrednosti koje bi izazvalo rušenje konstrukcije.

Neophodno je primeniti dve vertikalne raspodele bočnih sila - ravnomerne raspodele, gde su bočne sile proporcionalne masama bez obzira na visinski položaj i modalnu raspodelu gde su bočne sile u skladu sa raspodelom sila pri elastičnoj analizi (Slika 3). Nepovoljniji rezultati se usvajaju kao merodavni.

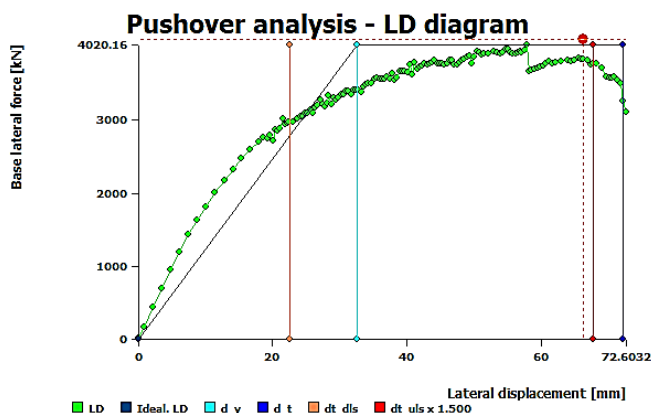


Slika 3. Raspodela bočnih sila za pushover analizu

6. REZULTATI PRORAČUNA

Postupno guranje je vršeno na prostornom modelu konstrukcije u X i Y pravcu. Na osnovu dobijenih rezultata iz softvera: faktora prekoračenja (overstrenght factor - *OSR*) i duktilnosti izračunava se faktor ponašanja q , koji se upoređuje sa njegovim preporučenim vrednostima za zidane konstrukcije definisanim u Evrokodu 8.

U Tabeli 1 je dat prikaz rezultata pushover analize (prikazane Slikom 4) za slučaj opterećenja koji daje najmanju rezervu nosivosti.



Slika 4. Slučaj opterećenja koji daje najmanju rezervu nosivosti (Y-, uniformna raspodela)

Tabela 1. Rezultati pushover analize, Y-, uniformna raspodela opterećenja

Ciljno pomeranje za GSU - dt_dls	22,576	[mm]
Kapacitet za GSU - dc_dls	61,712	[mm]
Ciljno pomeranje za GSN - dt_uls	67,728	[mm]
Kapacitet za GSN - dc_uls	72,233	[mm]
Period - T	0,755	[s]
Maksimalno referentno ubrzanje tla - a_g	1,280	[m/s ²]
Duktilnost - μ	2,905	/
Faktor prekoračenja - <i>OSR</i>	9,464	/
Elastično pomeranje - dy	32,599	[mm]

7. RUČNA VERIFIKACIJA REZULTATA

7.1 Ciljna pomeranja i kapaciteti za ULS i DLS

Ciljno pomeranje u analizi pushover krive predstavlja maksimalno dopušteno pomeranje (deformaciju) koje konstrukcija može doživeti pri određenim zemljotresnim dejstvima. To je parametar koji se postavlja kako bi se odredili željeni kapacitet konstrukcije i kako bi se definisale granice njenog ponašanja tokom zemljotresa.

Kapacitetom konstrukcije se smatra pomeranje pri kome je prekoračen kriterijum:

$$F_{b,i} \leq 0,8 \cdot F_{b,max} \quad (2)$$

$F_{b,i}$ - smičuća sila u osnovi zgrade pri kojoj dolazi do progresivnog oštećenja i loma pojedinih elemenata sistema za prijem bočnog opterećenja; $F_{b,max}$ - maksimalna nosivost zgrade. Za pomeranje $d_{max} = 93,821 \text{ mm}$ sila $F_{b,i}$ ima vrednost od 3757,473 kN a $F_{b,max}$ ima vrednost od 4893,93 kN, odnosno $0,8 \times F_{b,max} = 3915,144$ time je traženi uslov zadovoljen.

7.2 Određivanje maksimalnog ubrzanja a_g

$$a_g = \frac{S_e(T^*)}{S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{T_c}{T^*}\right)} \quad (3)$$

Dobijene vrednosti maksimalnih mogućih ubrzanja su prikazane u tabeli (Tabela 2).

Tabela 2. Vrednosti ubrzanja

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	a_g [m/s ²]	<i>AmQuake</i>
Uniformni raspored	X+, pos exc	1,953	1,952
	X+, neg exc	1,921	1,92
	X-, pos exc	1,638	1,638
	X-, neg exc	1,544	1,544
	Y+, pos exc	1,925	1,924
	Y+, neg exc	1,927	1,928
	Y-, pos exc	1,345	2,078
Modalni raspored	Y-, neg exc	1,468	1,526
	X+, pos exc	1,291	1,291
	X+, neg exc	1,325	1,325
	X-, pos exc	1,281	1,28
	X-, neg exc	1,253	1,253
	Y+, pos exc	1,987	1,987
	Y+, neg exc	2,078	1,346
	Y-, pos exc	1,372	1,468
	Y-, neg exc	1,526	1,372

7.3 Duktilnost μ

Duktilnost je karakteristika materijala koja se meri stepenom plastične deformacije koju materijal može podneti pre nego što dođe do prelaska između elastičnog i plastičnog deformisanja ili pre nego što dođe do konačnog loma. Duktilnost se računa prema sledećem izrazu:

$$\mu = \frac{d_{max}}{d_y} \quad (4)$$

d_{max} - kapacitet konstrukcije za MDOF sistem; d_y - pomeranje na granici tečenja za MDOF sistem; Dobijene vrednosti duktilnosti su prikazane u Tabeli 3.

Tabela 3. Vrednosti duktilnosti

Raspored opterećenja	Slučaj opterećenja	μ	Softver μ/r
Uniformni raspored	X+, pos exc	3,116	3,116
	X+, neg exc	3,046	3,046
	X-, pos exc	2,595	2,595
	X-, neg exc	2,454	2,455
	Y+, pos exc	3,169	3,170
	Y+, neg exc	3,188	3,188
	Y-, pos exc	2,168	2,168
	Y-, neg exc	2,378	2,378
Modalni raspored	X+, pos exc	2,331	2,331
	X+, neg exc	2,377	2,377
	X-, pos exc	2,297	2,297
	X-, neg exc	2,247	2,247
	Y+, pos exc	3,419	3,420
	Y+, neg exc	3,710	3,710
	Y-, pos exc	2,301	2,301
	Y-, neg exc	2,671	2,671

7.4 Faktor prekoračenja *OSR*

Faktor prekoračenja *OSR* se izražava preko odnosa F_y/F_{el} ili a_u/a_l .

$$OSR = \frac{F_y}{F_{el}} \quad (5)$$

F_y - granična smičuća sila na idealizovanoj bilineralnoj krivi; F_{el} - smičuća sila pri kojoj se formira prvi plastični zglobov. Faktor prekoračenja (ili faktor bezbednosti) zavisi od različitih faktora koji uključuju karakteristike materijala, vrstu opterećenja, životni vek konstrukcije, krutost tavanica u svojoj ravni, pretpostavke o modeliranju veznih elemenata, veze između konstruktivnih elemenata. Niže vrednosti faktora prekoračenja merodavne su u pushover analizi, odnosno u našem slučaju merodavna je uniformna raspodela bočnih sila.

Tabela 4. Vrednosti faktora prekoračenja *OSR*

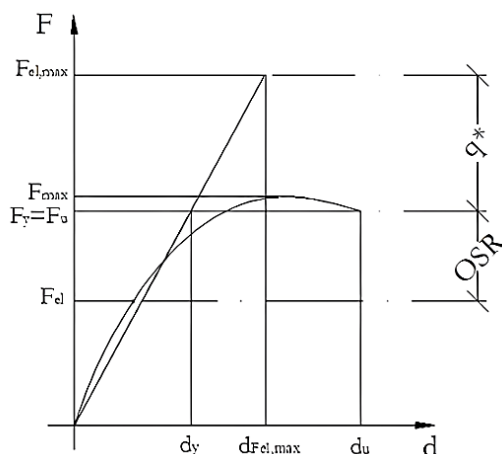
Uniformni raspored	X+, pos exc	2,660	2,660
	X+, neg exc	2,675	2,675
	X-, pos exc	2,678	2,678
	X-, neg exc	2,677	2,677
	Y+, pos exc	2,562	2,562
	Y+, neg exc	2,587	2,587
	Y-, pos exc	2,613	2,613
	Y-, neg exc	2,592	2,592
Modalni raspored	X+, pos exc	2,789	2,789
	X+, neg exc	2,806	2,806
	X-, pos exc	2,809	2,809
	X-, neg exc	2,814	2,814
	Y+, pos exc	2,817	2,817
	Y+, neg exc	2,819	2,819
	Y-, pos exc	2,887	2,887
	Y-, neg exc	2,813	2,813

Plastični mehanizam određujemo za dve raspodele bočnih sila i on je u skladu sa mehanizmom na kojem je zasnovan faktor ponašanja q koji se koristi u analizi.

7.5 Faktor ponašanja q

Faktor ponašanja predstavlja numerički parametar koji odražava očekivano ponašanje konstrukcije pod dejstvom opterećenja.

Faktor ponašanja q predstavlja približnu vrednost odnosa između seizmičkih sila koje bi delovale na konstrukciju kada bi njen odgovor bio potpuno elastičan ($F_{el,max}$) sa 5% relativnog viskoznog prigušenja i sila koje se koriste u analizi (F_{el}) koristeći uobičajeni linearno-elastični model. Ovaj faktor osigurava zadovoljavajući odgovor konstrukcije (Slika 5). Vrednost faktora ponašanja može da bude različita za različite horizontalne pravce konstrukcije, iako će klasifikacija duktilnosti da bude ista za sve pravce.



Slika 5. Parametri za definiciju faktora ponašanja q (F - bazna smičuća sila, d - pomeranje kontrolne tačke)

Za zidane konstrukcije, kao što je to slučaj i kod drugih tipova konstrukcija (armiranobetske i čelične), u definiciji faktora ponašanja q potrebno je uzeti u obzir ojačanje konstrukcije preko odnosa prekoračenja (OSR). Faktor ponašanja q se tada može definisati na sledeći način:

$$q = \frac{F_{el,max}}{F_{el}} = \frac{F_{el,max}}{F_y} \cdot \frac{F_y}{F_{el}} = q^* \cdot OSR \quad (6)$$

q^* - osnovna vrednost faktora ponašanja koja uzima u obzir disipativnu sposobnost konstrukcije pomnožena sa koeficijentom prekoračenja OSR .

Tabela 5. Vrednosti faktora ponašanja q

Uniformni raspored	X+, pos exc	8,287
	X+, neg exc	8,147
	X-, pos exc	6,950
	X-, neg exc	6,571
	Y+, pos exc	8,123
	Y+, neg exc	8,248
	Y-, pos exc	5,666
	Y-, neg exc	6,165
Modalni raspored	X+, pos exc	6,502
	X+, neg exc	6,670
	X-, pos exc	6,451
	X-, neg exc	6,322
	Y+, pos exc	9,634
	Y+, neg exc	10,459
	Y-, pos exc	6,643
	Y-, neg exc	7,513

Dobijene vrednosti faktora ponašanja se kreću u intervalu od 18,8 do 33,7. Najveća vrednost je dobijena za negativan

Y pravac sa pozitivnim ekscentricitetom delovanja opterećenja. Dobijene vrednosti su znatno veće od vrednosti preporučenih u EC8-1.

Tabela 6. Vrednosti faktora ponašanja prema EC8-1

Način građenja	q
Nearmirani zidovi prema EC6 slučaj niske seizmičnosti	1,5
Nearmirani zidovi prema EC8	1,5-2,5
Zidovi sa serklažima	2,0-3,0
Armirani zidovi	2,5-3,0

8. ZAKLJUČAK

Iz proračuna konstrukcije prema Evrokodovima zaključuje se da svi elementi ispunjavaju kriterijume nosivosti. Iako zidane konstrukcije predstavljaju izazov u pogledu seizmičke otpornosti, stručno projektovanje i pridržavanje propisa omogućavaju njihovo efikasno savladavanje. Nosivost zidova zavisi od vertikalnih opterećenja, dok prisustvo otvora smanjuje stabilnost. Serklaži su posebno važni za zidove sa otvorima, jer zidovi bez serklaža imaju manju otpornost na horizontalne sile.

9. LITERATURA

- [1] EN 1996-1-1 : 2005– Evrokod 6 „Proračun zidanih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009.
- [2] EN 1998-1 : 2004 – Evrokod 8 „Proračun seizmički otpornih konstrukcija”; Beograd, novembar 2009.
- [3] Stevanović Boško, Lađinović Đorđe: „Osnovni principi i pravila projektovanja, proračuna i izgradnje zidanih zgrada prema EC 6 i EC 8”, Pregledni rad.
- [4] Vukobratović Vladimir: „Materijal za predavanja iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”.
- [5] Lađinović Đorđe: „Savremene metode seizmičke analize konstrukcija zgrada“, Pregledni rad, 2008.
- [6] Manojlović Dragan: „Materijal za vežbe iz predmeta Odabrana poglavlja zidanih konstrukcija”.

Kratka biografija:



David Radojević rođen u Valjevu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Zidane konstrukcije odbranio je 2024. god. kontakt: radojevicdavid97@gmail.com

DIJAGNOSTIKA STANJA I PREDLOG MERA SANACIJE ZATVORENOG BAZENA U BAČKOJ TOPOLI

DIAGNOSTICS AND PROPOSED MEASURES FOR REHABILITATION OF THE INDOOR SWIMMING POOL IN BACKA TOPOLA

Aleksandra Tadić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Rad čine dva dela. Prvi deo je teorijski, vezan za trajnost, procenu stanja i sanaciju betonskih konstrukcija. Drugi deo se odnosi na analizu same konstrukcije zatvorenog bazena, i sadrži sledeće: tehnički opis konstrukcije, procenu stanja objekta (sa fotografijama i naznačenim oštećenjima) na osnovu vizuelnog pregleda i predlog mera sanacije koje bi trebalo sprovesti. Predložene sanacione mere imaju za cilj da obezbede trajnost i upotrebljivost konstrukcije bazena.

Ključne reči: *Trajnost konstrukcije, procena stanja, sanacija, defekti, prsline, segregacija, betonska gnezda*

Abstract – *This thesis consists of two parts. The first part is theoretical, related to durability, condition assessment and rehabilitation of concrete structures. The second part refers to the analysis of the construction of the closed pool, and contains the following: technical description of the construction, assessment of the condition of the object (with photographs and indicated damages) based on a visual inspection and proposal measures for rehabilitation that should be implemented. The proposed remedial measures aim to ensure the durability and usability of the pool construction.*

Keywords: *Durability of structures, condition assessment, repair, defects, cracks, segregation, honeycombs in concrete*

1. UVOD

Predmetna konstrukcija je veliki bazen koji se nalazi u kompleksu „Zatvoreni bazen sa pratećim sadržajem i infrastrukturuom u bloku 2 - Faza 2“ u Bačkoj Topoli. Razlog za procenu stanja i sanaciju bili su vidljivi defekti i oštećenja konstrukcije nastali u izgradnji konstrukcije.

2. OPŠTE O DIJAGNOSTICI STANJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Dijagnostika stanja konstrukcija je utvrđivanje uzroka nastalih oštećenja i ocena stvarnog stanja konstrukcije. Predstavlja složen proces i obuhvata čitav niz aktivnosti.

Trajnost konstrukcije je njena sposobnost da usled očekivanog opterećenja i dejstava iz okoline tokom

upotrebe zadrži zahtevani nivo sigurnosti i upotrebljivosti i odgovarajući izgled bez povećanih troškova za održavanje i popravke. U građevinskoj praksi se najčešće koristi termin oštećenje, koji obuhvata različite nedostatke izazvane spoljnim opterećenjem i uslovima sredine, kao i ljudskim greškama pri projektovanju i građenju.

Ukoliko se osnovnim pregledom utvrde nedostaci koji mogu uticati na ispunjenje osnovnih zahteva, kao i pravilnog funkcionisanja objekta, potrebno je sprovesti dodatne kontrole i ispitivanja.

Glavni pregled konstrukcije obuhvata:

- uvid u dokumentaciju objekta, uređaja i opreme (tehnička dokumentacija, građevinski dnevnik, izjave, potvrde, izveštaji, fotodokumentacija, nalozi, zapisnici...),
- vizuelni pregled,
- merenja i ispitivanja.

Prilikom vizuelnog pregleda objekta mogu se uočiti sledeći parametri stanja konstrukcije:

- Defekti - posledica grešaka u fazi projektovanja i fazi izvođenja ili usled neodgovarajućih materijala. Manifestuje se kao: betonska gnezda, zone segregacije, nedovoljna debljina zaštitnog sloja betona...

- Prsline - najkorisnije za preliminarnu dijagnozu betonskih konstrukcija. Podaci o položaju, orijentaciji, širini i dužini karakterističnih prsline, treba da budu zabeleženi. Važna je starost konstrukcije pri kojoj su se prsline prvi put pojavile.

- Oštećenja betona (odvajanje površinskog sloja betona, ljuštenje, otpadanje, pojava lokalnih rupa - "kokica", promena boje, itd.).

- Tragovi curenja, vlažne mrlje ili krečnjačke naslage na konstrukciji moraju se zabeležiti. Značaj registrovanja prisustva vlage - oštećenja se obično koncentrišu u vlažnim zonama.

- Korozijska armatura (mrlje od rđe, prsline duž armature, odvajanje i raslojavanje zaštitnog sloja betona i vidljive korodirale šipke).

- Znakovi prethodnih „popravki“ na konstrukciji se moraju otkriti.

- Položaj i stanje dilatacija (bitno zbog mogućeg procurivanja i zbog sprečenog slobodnog pomeranja delova mosta).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Danijel Kukaras, red. prof.

- Provera stanja ležišta (mogu se pojaviti dodatna naprezanja u konstrukciji).

Postoje dve vrste sanacije betonskih konstrukcija, a to su: nekonstrukcijska i konstrukcijska sanacija. Nekonstrukcijska sanacija se primenjuje u cilju produženja upotrebljivosti i trajnosti objekata, obuhvata popravku - reparaciju oštećenih površina betona i armature, bez promene konstrukcijskog sistema i/ili dodavanja nove armature. Konstrukcijska sanacija se primenjuje prvenstveno u slučajevima kada je narušena nosivost i sigurnost betonskih konstrukcija.

Prilikom sanacije mora se obezbediti da izabrani materijal bude kompatibilan sa betonskom podlogom, što je osnovni uslov obezbeđenja trajnosti sanirane konstrukcije. Kompatibilnost predstavlja balans između: fizičkih, mehaničkih, hemijskih, elektrohemijskih svojstava i dimenzionog ponašanja „novog” i „starog” materijala.

Mehanička svojstva koja se zahtevaju od reperaturnih materijala su nošenje i transfer opterećenja i prihvatanje odnosno odupiranje naponima koji su izazvani sprečenim zapreminskim promenama.

Svojstva potrebna za izvođenje, odnosno primenu, su svojstva koja se odnose na svojstva reperaturnih materijala u početnom periodu: ugradljivost – plastičnost, vreme početka vezivanja, zahtevi za negom. Izbor reperaturnih materijala za površinsku sanaciju treba da se bazira na određenim kriterijumima za fizička svojstva (npr. skupljanje, adhezija, modul elastičnosti).

Reparaturni materijali se, u odnosu na ostvarivanje dobre adhezije sa podlogom, mogu podeliti u dve grupe:

- reparaturni materijali koji ne zahtevaju nanošenje posebnog sloja za povećanje prionljivosti za betonsku podlogu i

- reparaturni materijali koji zahtevaju nanošenje posebnog sloja za povećanje prionljivosti za betonsku podlogu.

Nakon procene stanja elemenata AB konstrukcije na kojima su registrovane prslina i definisanja uzroka njihovog nastanka, može se odabrati odgovarajuće tehnika sanacije prslina: injektiranje injekcionim masama na bazi cementa ili polimera, gravitacionim nalivanjem, popunjavanjem malterima, zasecanje i zapunjavanje, „ušivanje“, premošćavanje pomoću dodatne armature, pomoću impregnacije polimerima, oblogama i površinskim premazima, kombinacijama navadenih metoda.

3. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE



Slika 1. Spoljašnja fasada kompleksa bazena

3.1. Lokacija objekta

Kompleks zatvorenog bazena se nalazi na katastarskoj parceli 5317/3, katastarska opština Bačka Topola – grad.

3.2. Opis konstrukcije

Konstruktivni sistem objekta je skeletni i fundiran je na šipovima sa naglavicama. Osnova objekta je generalno pravougaonog oblika, gabaritnih dimenzija 50.8x52.5 m u osnovi i dodatkom dela kod vetrobrana dimenzija 2.5x6.25 m. Dimenzije velikog bazena u osnovi su 22.00x26.00 m i dubine od 1.4 m do 1.8 m. Bazen je izgrađen od armiranog betona.



Slika 2. Unutrašnjost kompleksa - veliki bazen

4. PROCENA STANJA KONSTRUKCIJE BAZENA

Procena stanja predmetne konstrukcije velikog bazena se sastoji od sledećeg:

- Vizuelni, makroskopski pregled, pregled izvedene AB konstrukcije i upoređivanje projektovane konstrukcije sa izvedenom AB konstrukcijom i ocenom stanja konstrukcije u cilju sagledavanja mogućnosti procene stanja i ispitivanja konstrukcije nedestruktivnim metodama,

- Ispitivanje konstrukcije nedestruktivnim metodama (profometar i sklerometar),

- Analiza rezultata i predlog aktivnosti i popravki koje su potrebne za dovođenje predmetne konstrukcije u stanje podobno za nastavak radova.

4.1. Vizuelni pregled objekta

U toku pregleda konstruktivnih elemenata nisu uočena oštećenja koja bi ukazivala na opšti pad nosivosti ali su identifikovani sledeći defekti:

- Loše izvedeni nastavci betoniranja,



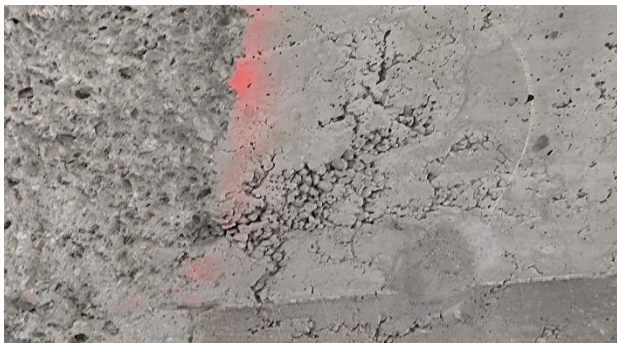
Slika 3. Loše izveden nastavak betoniranja

- Vidljivi ostaci betona u vidu gomilica na spojevima vertikalnih zidova bazena i donje ploče,



Slika 4. Ostaci betona nakon ugradnje

- Segregacija i betonska jezgra,



Slika 5. Betonsko gnezdo

- Nepravilne ivice otvora za hidrotehničke instalacije, ostaci stirodura u otvorima, na nekim mestima oštećena armatura,



Slika 6. Obrada prodora kroz donju ploču velikog bazena – nepravilan gornji deo otvora i tragovi stirodura

- Na vertikalnim zidovima bazena su vidljive vertikalne prsline koje se mestimično prostiru od vrha do dna bazena a na nekim mestima se završavaju u gornjoj zoni zida, od vrha pa do mesta nastavka betoniranja. Ove prsline su uglavnom ravnomerno raspoređene, na međusobnom razmaku od 2 do 3 m, po celom obodu bazena. Širina ovih prsline je relativno mala, oko 1 mm, ali se prostiru celom debljinom zida pa je izvesno da će kroz njih doći do procurivanja vode iz bazena.



Slika 7. Prsline u zidovima velikog bazena

4.2. Ispitivanje i položaj armature

Ispitivanje i položaj armature je izvršeno pomoću uređaja „BoschWallscanner D-tect SV“. Položaj i raspored armature je proveren na nekoliko karakterističnih mesta. Zaključak ispitivanja je da položaj i raspored armature odgovara projektovanom.

4.3. Ispitivanje površinske čvrstoće betona primenom sklerometra

Nakon provere površinske čvrstoće betona na 21 mernom mestu konstatovano je da dobijeni rezultati odgovaraju zahtevanim pri čemu rezultati ukazuju na postignutu klasu betona C30/37, izuzev na MM18 i MM19 gde je izmerena klasa čvrstoće C25/30.

4.4. Zaključak o sprovedenoj dijagnostici stanja i predlog sanacije AB konstrukcije velikog bazena

Na osnovu sprovedene dijagnostike stanja i prikazanih rezultata zaključuje se da nosivost ispitane konstrukcije nije ugrožena ali su utvrđeni nedostaci koji imaju negativan uticaj na trajnost i upotrebljivost predmetne konstrukcije bazena. Predlaže se sprovođenje sledećih radova na postojećoj konstrukciji zbog kvalitetnije izrade obloga bazena (blindiranje prslina trakama, reprofilacija, hidroizolacija i dr.):

- zbog bolje veze postojeće konstrukcije sa narednim slojem, a sa ciljem uklanjanja cementnog mleka, oplatnog ulja i eventualno nevezanih delova betona potrebno je površine tretirati nekom od abrazivnih metoda (brušenje, peskarenje i/ili primena vode pod pritiskom);
- injektiranje prslina;
- zapunjavanje i reprofilacija trošnih/oštećenih površina betona kao i popravka neadekvatno izvedenih otvora za hidrotehničke i elektrotehničke instalacije.

5. MERE SANACIJE

5.1. Sanacija betonskih gnezda, segregacije

Prvi korak pri sanaciji bilo kog defekta betona obuhvata pažljivo uklanjanje trošnog betona i nečistoća sledećim metodama: ručnim štemovanjem, pneumatskim čekićem, vodom pod pritiskom, peskarenjem. Beton se uklanja sve dok iz cementnog kamena ispadaju cela zrna agregata, odnosno dok zrna agregata ne počnu da se lome. Popunjavanje odštemovanih delova sa zidova bazena i nanošenje novog zaštitnog sloja planirano je mikroarmiranim reparaturnim malterom RM2 – klasa čvrstoće R4 prema EN 1504.

5.2. Sanacija otvora za hidrotehničke instalacije u donjoj ploči bazena

Nakon uklanjanja ostataka betona i ostalih nečistoća pre same sanacije neophodno je izvršiti čišćenje armature u zonama u kojima je došlo do otkrivanja armature i/ili prekida šipki prilikom formiranja otvora za hidrotehničke instalacije. Čišćenje „otkrivene“ armature se izvodi žičanim četkama, ručno ili mehanički. Zatim se šipke premazuju sredstvima za antikorozijsku zaštitu i obezbeđenje bolje prionljivosti. U slučajevima gde je armatura bila prekinuta, izvršeno je nastavljavanje armature zavarivanjem. Za popunjavanje odštemovanih delova

sloja korišćen je mikroarmirani reparaturni malter RM2 – klasa čvrstoće R4 prema EN 1504.

5.3. Sanacija prslina u zidovima velikog bazena

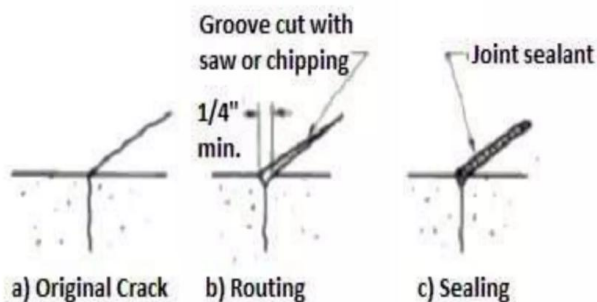
Ciljevi injektiranja prslina u betonu su: postizanje nepropustljivosti i vodonepropustljivosti betona, sprečavanje prodora agresivnih materija u beton radi sprečavanja pojave korozije betona i/ili armature, ojačavanje konstrukcija vraćanjem integriteta betona.

U zavisnosti od veličine i položaja prslina na zidovima bazena, primenjeni su sledeći postupci sanacije:

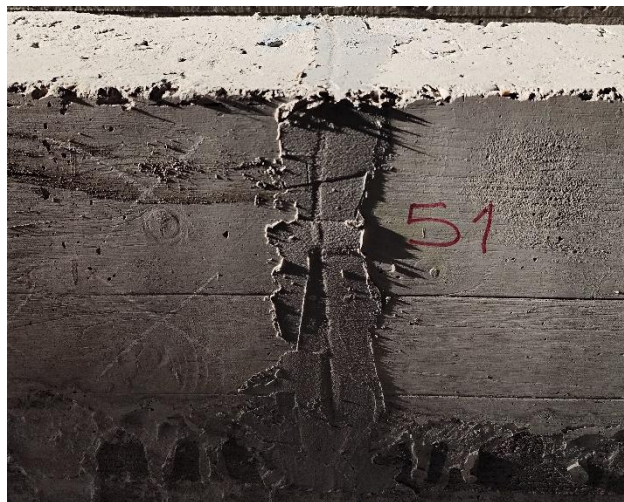
- Injektiranje injektionim masama na bazi cementa i polimera (epoksidima), kod prslina koje se protežu celom visinom zida, i dublje u betonski presek,
- Zasecanje i zapunjavanje, kod prslina pri vrhu zida.

Za injektiranje predmetnih prslina korišćene su superfluidne epoksidne smole (npr. „EpoJet“ MAPEI). Odabrana injeksiona masa za prenos sile ima oznaku „F“. Opšta procedura injektiranja epoksidnim materijalima, prema ACI 503R, sastoji se od: čišćenje prslina, zapunjavanje – zatvaranje prslina na površini betona, bušenje otvora i postavljanje ulivnih dizni, mešanje epoksida, injektiranje epoksidima, uklanjanje ulivnih dizni i zaptivne mase sa površine betona. Odprašivanje formiranih kanala (4x4 mm, sa obe strane) izvršeno je komprimovanim vazduhom. Kanal se formira na površini AB elementa, duž prslina, zasecanjem prslina testerom za beton. Ulivne dizne (injektor) postavljaju se u rupe izbušene koso, naizmenično sa obe strane prslina. Ugao bušenja je 45°. Prslina su injektirane pumpama niskog pritiska (do 5 bara). Sa procesom injektiranja se započinje od najnižeg injeksionog otvora i injektira se sve dok se injeksiona masa ne pojavi na prvom injeksionom otvoru iznad. Donji injektor se zatvara a proces se nastavlja sve dok se prslina potpuno ne „napuni“ i dok se ne zatvore ulivne dizne. Nakon 12h od završenog injektiranja, odnosno isteka vremena potrebnog za očvršćavanje epoksida, može se ukloniti masa kojom je površinski zapunjena prslina.

Sanacija prslina metodom zasecanja i zapunjavanja sastoji se iz sledećih operacija: proširivanje vidljivog dela prslina i zapunjavanje odgovarajućom masom. Proširivanje vidljivog dela prslina se sastoji u formiranju kanala na površini dubine 4x4 mm. Za izvođenje ove operacije korišćena je testera za beton. Formirani kanal se zatim čisti komprimovanim vazduhom. U ovako pripremljen žljeb ugrađuje se masa za zapunjavanje. Kao masa za zapunjavanje korišćena je epoksidna smola.



Slika 8. Sanacija prslina zasecanjem i zapunjavanjem [2]



Slika 9. Izgled zapunjene prslina

6. LITERATURA

- [1] Prof. dr Danijel Kukaras, Doc. dr Slobodan Šupić, predavanja sa predmeta “Trajnost i procenja stanja betonskih konstrukcija”, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [2] Prof. dr Vlastimir Radonjanin, Prof dr. Mirjana Malešev, predavanja sa predmeta “Sanacija betonskih konstrukcija”, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] Prof. dr Danijel Kukaras, Centar za konstrukcije DOO Subotica, Izveštaj „Dijagnostika stanja i predlog popravki AB konstrukcije zatvorenih bazena u Bačkoj Palanci“
- [4] https://youtu.be/DnqcCiEoH48?si=Uc_pwVU_hACDuNfN

Kratka biografija:



Aleksandra Tadić rođena je u Loznici 1997. god. Osnovne akademske studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2022. godine, iz oblasti građevinarstva – konstruktivni smer. Iste godine upisuje, master akademske studije, smer – konstrukcije koje završava 2024. godine sa nazivom master rada “Dijagnostika stanja i predlog mera sanacije zatvorenog bazena u Bačkoj Topoli”.

ПРОЦЕНА СТАЊА И САНАЦИЈА АБ КОНСТРУКЦИЈЕ ВИШЕСПРАТНЕ ПОСЛОВНО-СТАМБЕНЕ ЗГРАДЕ У НОВОМ САДУ**THE ASSESSMENT AND REPAIR OF THE RC STRUCTURE OF A MULTI-STOREY BUSINESS-RESIDENTIAL BUILDING IN NOVI SAD**

Вања Латковић, Слободан Шупић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – Грађевинарство

Кратак садржај – Рад се састоји из истраживачког и практичног дела. У истраживачком дат је увид у све дефекте који се јављају на бетонским елементима током извођења радова. У практичном делу је урађена процена стања АБ конструкције зграде у Новом Саду и дато је санационо решење за уочене дефекте и оштећења. Како би се утврдило постојање дефеката и оштећења, одрађен је детаљан визуелан преглед конструкције. На основу анализе резултата који су проистекли из детаљног визуелног прегледа, дато је санационо решење за предметну конструкцију, као и предмер свих радова које је потребно урадити.

Кључне речи: процена стања, дефекти, оштећења, санација

Abstract – The work consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part provides an overview of all defects that can occur in concrete elements in a structure. The practical part involves an assessment of the condition of the reinforced concrete structure of a building in Novi Sad, along with a repair solution for the identified defects and damages. To determine the presence of defects and damages, a detailed visual inspection of the structure was conducted. Based on the analysis of the results, a repair solution was provided, as well as a preliminary estimate of all the necessary works to be carried out.

Keywords: assessment, defects, damages, repair

1. ДЕФЕКТИ У АБ КОНСТРУКЦИЈАМА

Дефекти се могу дефинисати као грешкетом извођења радова или пропусти у пројектовању специфичних детаља везаних за извођење конструкција и могу имати негативан утицај на трајност, али и на носивост објеката. У наставу су набројани најчешћи дефекти и последице њихове манифестације.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био др Слободан Шупић, доцент.

1.1. Промена боје

Промена боје је дефект чији је проблем само визуелне природе и не утиче на трајност бетона. Узроци промене боје могу бити разни: промена врсте агрегата, промена текстуре оплате, мрље од оплате и неуједначена нега.

1.2. Бетонска гнезда

Бетонска гнезда настају када цементна паста не попуњава простор између зрна агрегата, као и простор око арматуре.

До појаве ове врсте дефекта долази услед неодговарајућег гранулометријског састава, лоше пројектоване бетонске мешавине, неодговарајућег спољашњег транспорта, лошег уграђивања бетона и лошег компактирања бетона.

Последица бетонског гнезда је смањење заштитног слоја бетона, угрожавање трајности бетона и смањење ефективног попречног пресека.



Слика 1. Бетонско гнездо

1.3. Зоне сегрегације

Зоне сегрегације настају услед неадекватног заптивања оплате. Неадекватно заптивена оплата ће омогућити цементном млеку да исцури приликом уграђивања и компактирања бетона, те тако оставити зрна агрегата необавијеним цементном пастом. Последица овог дефекта је значајна локална редукција заштитног слоја, чиме је олакшана дифузија CO₂, иницира се процес електрохемијске корозије челика и даље омогућава бржу деградацију бетона.



Слика 2. Сегрегација бетона

1.4. Мала дебелина заштитног слоја бетона

Мала дебелина заштитног слоја је најозбиљнији дефект који може да се јави у неком бетонском елементу. Квалитетно пројектовање бетонских елемената подразумева и тачно одређен заштитни слој, у складу са релевантним класама изложености, како би елемент имао захтевану трајност. Свака дебелина заштитног слоја која је мања од захтеване, учиниће бетон подложнијим агресивним дејствима која могу да изазову корозију арматуре.



Слика 3. Дефект недовољне дебелине заштитног слоја бетона

1.5. Геометријске имперфекције

Ова врста дефекта је проблем само визуелне природе. Међутим, уколико су имперфекције веће, то даље може довести до смањења заштитног слоја бетона, односно смањења трајности бетона. До геометријских имперфекција долази услед лоше монтаже оплате, која попусти услед притиска бетона приликом бетонирања.



Слика 4. Геометријске имперфекције

1.6. Рупичаста површина

Рупичаста површина настаје услед постојања мехурића заробљеног ваздуха уз оплату. Углавном је проблем само визуелне природе, међутим при већим количинама мехурића, долази до локалне редукције заштитног слоја бетона. Рупичасту површину је скоро па немогуће избећи, међутим правилним пројектовањем бетонске мешавине, правилним уграђивањем и компактирањем мешавине и

употребом уља за оплату, могуће је смањити количину заробљених мехурића уз оплату.



Слика 5. Рупичаста површина

1.7. Механичка оштећења

Услед оштрих углова у оплати, као и због појаве адхезије између оплате и бетона може доћи до одваљивања делова бетона. Последице овога могу редукција заштитног слоја бетона, огољавање арматуре и нарушавање естетског изгледа и трајности. У зависности од количине одваљеног бетона, имаћемо и различите начине санације.



Слика 6. Механичка оштећења

1.8. Мрље

Дефект само визуелне природе. Овај дефект се појављује када арматура дуго стоји у оплати, те услед продора воде или других атмосферских фактора дође до цурења рђе/патине на оплату пре бетонирања.



Слика 7. Мрље на бетону

2. ТЕХНИЧКИ ОПИС КОНСТРУКЦИЈЕ

Предметни објект (ламела Ф) је део комплекса објеката, стамбено-пословне намене, који се састоји од осам ламела. Предметни објект је спратности П+8, правилног облика, са основном приземља приближне величине од 496м². Конструктивно је конципиран као вишеетажна армирано бетонска конструкција статичког система пуних плоча ослоњених на стубове. Стубови су постављени у ортогоналним осама које прате правац фасаде. Лифт и

степенишни простор смештени су приближно на средини објекта. Објекат се налази у Новом Саду.

3. ИЗВОЂЕЊЕ АБ РАДОВА НА КОНСТРУКЦИЈИ

За предметни пројекат, извођење свих бетонских радова је било у летњем периоду, при високим температурама и ниској релативној влажности ваздуха, што је условило потребу за посебним мерама пројектовања састава, транспорта, уграђивања и неге бетона.

3.1. Извођење радова на бетонирању АБ плоча

Све плоче на објекту се изводе од бетона класе чврстоће при притиску C25/30. Класа изложености плоча, као унутрашњих елемената који су изложени најмањем ефекту карбонатизације, је XC1. На основу класе изложености, усвојена је дебљина заштитног слоја бетона од 2,5 cm. Спољашњи транспорт бетона се обавља аутомиксерима, а унутрашњи транспорт бетона је помоћу пумпе за бетон. Плоче се бетонирају у континуитету, без прекида. Демонтажа оплате плоча се врши након минимум 3 недеље.



Слика 8. Извођење радова на бетонирању АБ плоча

3.2. Извођење радова на АБ вертикалним елементима

Стубови у објекту су подељени у две врсте на основу класе чврстоће. Приземље и прва два спрата се изводе од бетона класе чврстоће C35/45, док сви наредни спратови имају елементе од бетона класе C25/30. Класа изложености стубова је XC1, те је усвојен заштитни слој бетона до арматуре 2,5 cm. Бетонирање се изводи у слојевима од 1m. За унутрашњи транспорт бетона је коришћена ауто-пумпа, што је изискивало примену бетона течне конзистенције. За формирање облика стубова и зидова, коришћена је PERI-јева челична панелна оплата која је претходно премазана уљем за спречавање адхезије између бетона и оплате.



Слика 9. Извођење радова на бетонирању вертикалних АБ елемената

4. ДЕФЕКТИ

4.1. Стубови и зидна платна

На вертикалним елементима, регистровани су следећи дефекти: рупичаста површина (заробљени мехурићи ваздуха), линијска сегрегација, површинска бетонска гнезда и бетонска гнезда и следећа оштећења: механичка оштећења, у виду одваљених делова бетона, са или без видљиве арматуре.



Слика 10. Дефекти на стубовима

4.2. АБ степеништа

На свим степеништима која су узета у разматрање овим предметним пројектом, регистровани су следећи дефекти: рупичаста површина (заробљени мехурићи ваздуха) и бетонска гнезда. Карактеристични дефекти на степеништима свих етажа рупичаста површина бетона и бетонска гнезда. Ови дефекти је уочени на свим степеништима. Рупичаста површина бетона је примећена на свим степеништима, са доње стране крака, и резултат је заробљених мехурића ваздуха на контакту оплате и бетона. Бетонска гнезда, која обухватају заштитни слој бетона и могу да доведу до корозије арматуре и смањења трајности бетона, су детектована на свим степеништима.



Слика 11. Дефекти на АБ степеништима

4.3. АБ плоче

Будући да је бетонирање извођено током летњих услова, температура је била врло висока, релативна влажност ваздуха ниска, чиме су се обезбедили услови за појаву прелина услед пластичног скупљања бетона, прелина услед слегања (седања) бетона, и неравна површина бетона. На АБ плочама су регистрована следећа оштећења: прелине услед пластичног скупљања бетона, прелине услед слегања (седања) бетона и љускање плитког површинског слоја бетона.



Слика 12. Оштећења на АБ плочама

Други тип прслина који је уочен на плочама предметног пројекта су прслине услед седања бетона. До појаве седања бетона долази у првих неколико часова, док је бетон пластичан и док има малу чврстоћу. Теже компоненте имају тенденцију померања ка унутрашњости елемента, док лакше компоненте претендују да се крећу ка горњој површини. Препрека оваквог кретања компоненти је арматура, те бетон прави сводове преко шипки, што резултује појавом напона затезања у бетону, па самим тим и стварања прслина. До појаве седања бетона долази, углавном, због лошег квалитета бетона, тачније када се бетону на градилишту додаје вода.



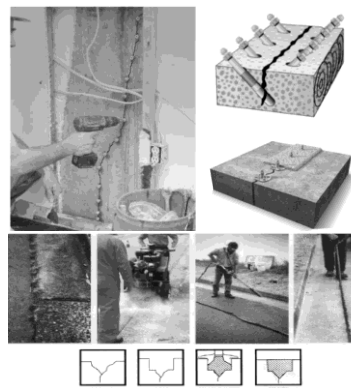
Слика 13. Седање бетона, АБ плоча

5. ЗАКЉУЧАК О СТАЊУ АБ КОНСТРУКЦИЈЕ

Након детаљног визуелног прегледа АБ конструкције, уочени су дефекти и оштећења на АБ вертикалним елементима (стубовима и зидним платнима), дефекти на АБ степеништима, као и оштећења на АБ плочама. Сви дефекти и оштећења, везани су искључиво за бетон, што значи да ни на једном месту није утврђена корозија арматуре. На основу детаљног визуелног прегледа конструкције, укупна укупна површина бетона за санацију услед постојања бетонских гнезда и механичких оштећења је $14,82 \text{ m}^2$, а укупна дужина прслина је $44,15 \text{ m}$ услед пластичног скупљања, односно $58,80 \text{ m}$ услед седања бетона.

6. САНАЦИОНО РЕШЕЊЕ НОСЕЋИХ ЕЛЕМЕНАТА АБ КОНСТРУКЦИЈЕ ЗГРАДЕ У НОВОМ САДУ

Што се тиче АБ плоча, прслине услед пластичног скупљања се санирају инјектирањем прслина, а прслине услед седања бетона се санирају техником засецања и запуњавања. АБ стубови, зидна платна и степеништа се санирају репрофилацијом дела елемента репаратурним малтерима. Технике санације су илустроване на наредним фотографијама, а укупна цена коштања је дата у Табели 1.



Слика 14. Методе санације прслина (инјектирање и засецање и запуњавање)

7. ПРЕДМЕР САНАЦИОНИХ РАДОВА

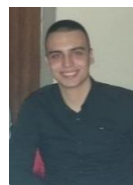
Табела 1. Укупна цена санационих радова

Опис санационих радова	Количина	Укупна цена (у динарима)
Инјектирање прслина услед пластичног скупљања	44,15 м	254.304,00
Засецање и заптивање прслина насталих услед седања бетона	58,80 м	169.344,00
Репрофилација АБ стубова, зидних платана и степеништа	14,82 м ²	177.704,84
УКУПНО		686.072,49

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Проф. др Данијел Кукарас, Доц. др Слободан Шупић, предавања са предмета "Трајност и процена стања бетонских конструкција", Факултет техничких наука, Нови Сад
2. Проф. др Данијел Кукарас, Доц. др Слободан Шупић, предавања са предмета "Санација бетонских конструкција", Факултет техничких наука, Нови Сад

Кратка биографија:



Вања Латковић рођен је 14.11.2000. у Новом Саду. Студент је мастер студија грађевинарства, смер конструкције. Тренутно је запослен у ГАЛЕНС ДОО.

Контакт:

vanja.latkovic2000@gmail.com



Слободан Шупић рођен је 1989. године у Требињу. Од 2020. ради као доцент на Департману за грађевинарство и геодезију, на Факултету Техничких Наука, ужа научна област: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција.

**MATEMATIČKO MODELIRANJE HIDRAULIČKOG UDARA U POTISNOM
CEVOVODU KANALIZACIONOG SISTEMA PRIMENOM SOFTVERA AFT IMPULSE
MATHEMATICAL MODELING OF WATER HAMMER IN A PRESSURIZED SEWAGE
SYSTEM USING THE AFT IMPULSE SOFTWARE**

Boban Županjac, Ljubomir Budinski, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast- GRAĐEVINARSTVO – HIDROTEHNIKA

Kratak sadržaj – Tema rada je analiza hidrauličkog udara za tri zasebna cevovodna sistema, dva potisna kanalizaciona i jedan gravitacioni vodovodni sistem. Dat je opis sistema i njihovih komponenti, na osnovu čega je formiran model u softveru AFT Impulse. Izvršena je simulacija i analiza hidrauličkog udara u sistemima. Na osnovu dobijenih rezultata, odabrana je adekvatna zaštita sistema za različite varijantne slučajeve.

Abstract – The topic of the paper is the analysis of water hammer in three separate pipeline systems, two pressurized sewage systems, and one gravity water supply system. A description of the system and their components was provided, based on which a model was created in the AFT Impulse software. A simulation and analysis of the water hammer in the systems were conducted. Based on the obtained results, appropriate system protection was selected for different variant scenarios.

Ključne reči: Hidraulički udar, AFT Impulse

1. UVOD

Kada se u cevima pod pritiskom protok naglo zaustavi, pokrene ili doživi naglu promenu pravca, dolazi do fenomena koji se naziva hidraulički udar, koji je karakterističan po propagaciji, odnosno širenju talasa. Kroz istoriju, još od samih početaka korišćenja cevni sistema za prenos tečnosti, inženjeri su se suočavali sa izazovima koje donosi hidraulički udar. Pre više od dve hiljade godina, Marko Vitruvije Polio je opisao posledice hidrauličkog udara i kavitacije distribucionih sistema antičkog Rima, dok je sa matematičke strane prvi formalni opis ove pojave započeo radovima fon Kriesa, Žukovskog i Alevisia [1].

Velike oscilacije pritiska, koje se javljaju kao posledica hidrauličkog udara, dovode do značajnih problema u funkcionisanju cevovoda. Ekstremne vrednosti pritisaka mogu višestruko prevazići radne pritiske u cevovodu, pa su kao posledica moguća oštećenja opreme, kao i samog cevovoda. Sa druge strane, niski pritisci u cevovodu, u kombinaciji sa spoljnim opterećenjem mogu dovesti do velikih deformacija i loma fleksibilnih cevi, pa postoji opravdan praktični interes da se ekstremne vrednosti pritisaka drže u umerenim granicama.

Shodno činjenici da se prilikom prelaznih režima javljaju pritisci u cevovodu koji ugrožavaju statičku sigurnost cevovoda i opreme na njemu, projektant se može odlučiti na dimenzionisanje cevi na povećane pritiske i da odabere jače i skuplje cevi, ili da ne dozvoli pojavu neprihvatljivih vrednosti pritisaka.

Hidraulički udar i prelazni režimi u cevovodima se javljaju kao posledica regulacije u okviru normalnog rada sistema, iznenadnim kvarovima na sistemu, neadekvatnim održavanjem, a mogu biti izazvani i spoljnim faktorima. Najčešće, hidraulički udar nastaje kao posledica naglog prestanka rada pumpi ili naglog zatvaranja zatvarača [2]. Zadatak rada je da se za tri zasebna cevovodna sistema analizira pojava, prikažu posledice i odredi adekvatna zaštita od hidrauličkog udara.

2. OSNOVNE JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA

Za izvođenje matematičkog modela za analizu prelaznih režima i hidrauličkog udara, pored osnovnih pretpostavka o linijskom problemu (varijacije brzine po poprečnom preseku se zanemaruju, važi hidrostatička raspodela pritisaka u poprečnom preseku) i korišćenju veličina reprezentativnih za poprečni presek, uvode se i dodatne pretpostavke [2]:

- fluid i materijal cevi ponašaju se kao idealno elastično telo,
- sila trenja se uzima kao kod ustaljenog tečenja,
- nema diskontinuiteta u cevi, što je preduslov za diferencijalni pristup.

Osnovne jednačine mehanike fluida su:

1. dinamička jednačina:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial \Pi}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} v|v| = 0 \quad (1)$$

2. jednačina kontinuiteta:

$$v \frac{\partial \Pi}{\partial x} + \frac{\partial \Pi}{\partial t} - v \sin \alpha + \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

Jednačine označene sa (1) i (2) su parcijalne diferencijalne jednačine koje nemaju analitičko rešenje, međutim, daljim pojednostavljenjem se može doći do oblika koji se može analitički rešiti. Eliminacijom jedne promenljive i transformacijom se može doći do jedne jednačine:

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} \quad (3)$$

Jednačina označena sa (3) se može predstaviti i u svom ekvivalentnom obliku, u kom se pojavljuje brzina:

NAPOMENA: Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor redovni profesor dr Ljubomir Budinski

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial X^2} \quad (4)$$

3. SOFTVER AFT IMPULSE

AFT Impulse predstavlja napredan softverski alat koji se koristi za simulaciju i analizu hidrauličkih udara, kao i dinamičkih efekata u cevovodnim sistemima. Softver je razvijen od strane kompanije Applied Flow Technology (AFT), koja se bavi razvojem inženjerskih alata za analizu tečenja fluida. AFT Impulse pruža inženjerima precizno modeliranje ponašanja fluida unutar cevovoda, prepoznaje potencijalne probleme i pruža rešenja za projektovanje sistema sa ciljem smanjenja rizika od hidrauličkih udara [3]. Softver pruža širok spektar funkcija za modeliranje prelaznih režima u cevovodnim sistemima, među kojima su: modeliranje prelaznih režima kod sistema sa grananjem ili petljama, u otvorenim ili zatvorenim (recirkulacionim) sistemima, modeliranje prelaznih režima ventila, pumpi, rezervoara, posuda pod pritiskom itd.

Pre pokretanja modela hidrauličkog udara, potrebno je uneti početne uslove stacionarnog stanja. Rešenje stacionarnog stanja se dobija korišćenjem algoritma Njutn Rafson metode za rešavanje matrice, kako bi se postigla ravnoteža mase i impulsa. Za rešavanje nestacionarnog stanja (prelaznih režima), softver koristi metodu karakteristika (MOC). Ravnoteža mase i impulsa se izvodi na svim računskim stanicama na svakoj cevi, precizno predstavljajući propagaciju talasa pritiska kroz sistem [4].

3.1. Inženjerske pretpostavke u softveru

Softver se zasniva na sledećim osnovnim pretpostavkama mehanike fluida [4]:

- cevovod je u potpunosti ispunjen tečnošću,
- 1D tečenje – jednodimenzijalna analiza,
- nema hemijskih reakcija,
- brzina talasa ostaje konstantna tokom prelaznih režima,
- oslabljavanje nekondenzujućih gasova je zanemarljivo,
- mehuri koji se formiraju tokom tranzijentne kavitacije se ne kreću.

3.2. Interfejs i navigacioni paneli softvera

Nakon pokretanja programa prikazaće se interfejs programa, koji je prikazan na slici 1. Na vrhu interfejsa se nalazi glavni meni, koji omogućava pristup ključnim komandama i alatima za upravljanje projektima, uređivanje modela i pokretanje simulacija.

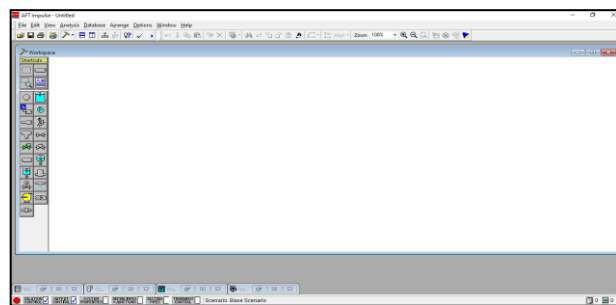
Navigacioni paneli služe za upravljanje modelom, alatima i komponentama, što omogućava korisnicima lakši i efikasniji rad. Osnovni navigacioni paneli su: Workspace (radni prostor), Quick Access Toolbar i Toolbox/Tool Palette.

Workspace, odnosno radni prostor, predstavlja centralni i glavni deo interfejsa, u kome se kreiraju i vizualizuju modeli cevovodnih sistema. Omogućava relativno lako snalaženje kroz model (precizno postavljanje elemenata, uvećavanje, smanjivanje, pomeranje prikaza), a pruža i

funkciju drag and drop, koja služi za prevlačenje komponenta iz Tool Palette i postavljanje unutar radnog prostora.

Quick Access Toolbar se nalazi na vrhu interfejsa, i predstavlja brzoalatnu traku koja omogućava brz pristup najčešće korišćenim funkcijama. Sadrži funkcije kao što su: Open Model, Save, Copy, Paste, Delete, Run (pokretanje simulacije) i druge.

Toolbox ili Tool Palette je panel koji sadrži sve dostupne komponente i alate koji se mogu koristiti za izgradnju modela u softveru. Nalazi se sa leve strane radnog prostora i omogućava brz pristup različitim tipovima komponenti, kao što su cevi, čvorovi, pumpe, rezervoari, ventili i dr.

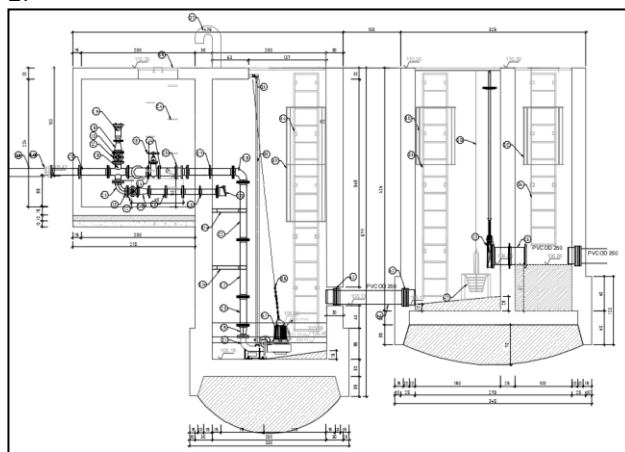


Slika 1. Interfejs softvera AFT Impulse

4. PRIKAZ SISTEMA

4.1. Sistem 1 – potisni kanalizacioni cevovod

Cevovod sistema 1 služi za odvođenje otpadnih voda, a prostire se na ukupnoj dužini od 1561 metara. Cevovod je od polietilena (HDPE), a prečnik je konstantan duž cevovoda i iznosi 140mm. Cevovod je ojačan predizolovanim cevima od duktilnog liva u dužini od 18m na 2 mesta. Crpna stanica sistema 1 prikazana je na slici 2.



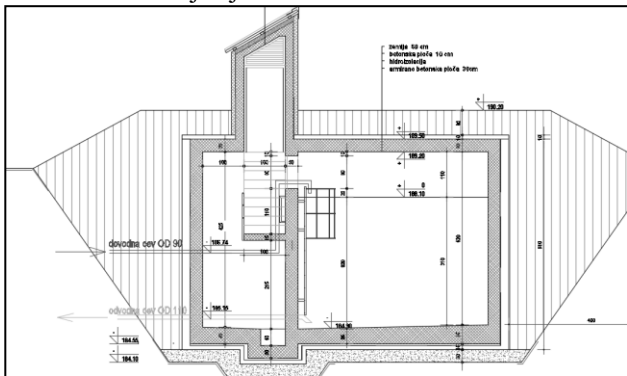
Slika 2. Presek kroz crpnu stanicu sistema 1

4.2. Sistem 2 – potisni kanalizacioni cevovod

Cevovod sistema 2 služi takođe za odvođenje otpadnih voda, a prostire se na ukupnoj dužini od 1325 metara. Cevovod je od polietilena (HDPE), a prečnik je konstantan duž cevovoda i iznosi 200mm. Cevovod je zaštićen čeličnim zaštitnim cevima na 4 mesta.

4.3. Sistem 3 – gravitacioni vodovodni cevovod

Cevovod sistema 3 služi za snabdevanje naselja vodom, a voda se iz rezervoara (slika 3) gravitaciono dovodi do naselja. Cevovod se prostire na ukupnoj dužini od 2820.45 metara i napravljen je od polietilena (HDPE). Na prvoj deonici, u dužini od 27.97m, cevovod je prečnika 110mm, dok je na svim ostalim deonicama prečnik cevovoda konstantan i iznosi 160mm. U dužini od 36.84m cevovod je ojačan čeličnom zaštitnom cevi.

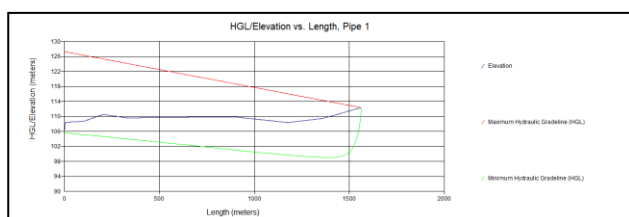


Slika 3. Presek kroz rezervoar sistema 3

5. ANALIZA REZULTATA PRORAČUNA

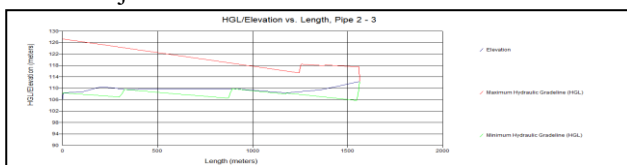
Za sva tri sistema urađeno je nekoliko varijantnih rešenja. Prvi slučajevi su bili sistemi bez zaštite, izvršena je analiza ustaljenog stanja. Nakon toga, za sisteme bez zaštite, rađena je simulacija hidrauličkog udara, sa ciljem da se proveri da li će pritisak pasti više od 4m ispod položaja cevovoda, jer se u tom slučaju može javiti kavitacija.

Kod sistema 1 analizira se nagli ispad pumpe iz rada. Zadatak je zaštititi sistem primenom vazdušnih ventila, odrediti broj potrebnih ventila i njihov položaj duž cevovoda. Nakon završetka simulacije sistema bez zaštite, sa anvelopa minimalnih i maksimalnih pritisaka u sistemu (slika 4), očigledno je da je potrebno postaviti adekvatnu zaštitu.



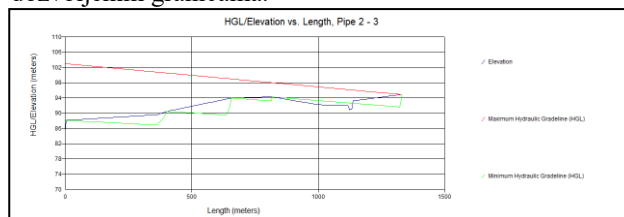
Slika 4. Anvelopa pritisaka za sistem 1 bez zaštite

Rezultati su pokazali da je potrebno postaviti četiri vazdušna ventila duž cevovoda, kako bi pritisci duž cevovoda bili u dozvoljenim granicama. Anvelopa pritisaka (slika 5) pokazuje da je u blizini izliva potpritisak veći od 4m, ali se ta vrednost može zanemariti, s obzirom da je kod izliva svakako omogućeno ovazdušenje.



Slika 5. Anvelopa pritisaka za sistem 1 sa 4 ventila

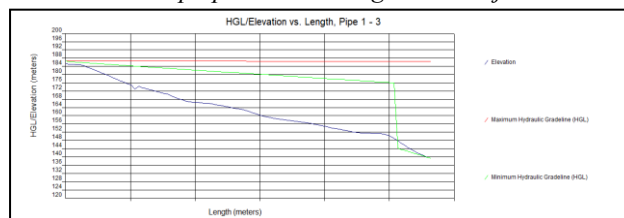
Kod sistema 2 takođe se analizira nagli ispad pumpe iz rada. Zadatak je zaštititi sistem primenom vazdušnih ventila, odrediti broj potrebnih ventila i njihov položaj duž cevovoda. Rezultati (slika 6) su pokazali da ukoliko primenimo 4 vazdušna ventila, pritisci će biti u dozvoljenim granicama.



Slika 6. Anvelopa pritisaka za sistem 2 sa 4 ventila

Kod sistema 3 (gravitacioni vodovodni sistem), izvršena je analiza naglog otvaranja i zatvaranja zatvarača, zadatak je bio proveriti sistem na nekoliko slučajeva – zaštita sistema isključivo vazdušnim ventilima, zaštita isključivo posudom pod pritiskom, a ukoliko je potrebno, analizirati i zajedničku primenu ventila i posude pod pritiskom. Za slučaj naglog otvaranja ventila, potrebno je primeniti 7 vazdušnih ventila, a ukoliko bismo koristili posudu pod pritiskom, dovoljno je primeniti jednu (slika 7). Kod naglog zatvaranja zatvarača, sa strane potpritiska i kavitacije, sistem je siguran i bez zaštite.

Slika 7. Anvelopa pritisaka za naglo otvaranje zatvarača



sistema 3 sa posudom pod pritiskom

6. ZAKLJUČAK

Izvršena je analiza hidrauličkog udara za tri zasebna cevovodna sistema. Opisana je pojava hidrauličkog udara i predstavljene su osnovne jednačine matematičkog modela hidrauličkog udara. Analiza prelaznih režima sprovedena je u softveru AFT Impulse. Predstavljene su osnovne mogućnosti i način rada softvera. Ukratko su opisani svi sistemi. Na osnovu podataka o karakteristikama cevovoda izvršen je izbor položaja adekvatne zaštite sistema. Na osnovu podloga o trasi cevovoda i postojećih elemenata sistema, formiran je model u softveru. Nakon definisanja prostornog i vremenskog koraka pokrenuta je simulacija.

Simulacija je izvršena za ustaljeno stanje (Steady Only) sva tri sistema bez zaštitnih komponenti. Zatim je sprovedena analiza prelaznih režima za slučajeve bez zaštite, kao i analiza sa zaštitnim komponentama – za prva dva sistema (slučaj naglog prestanka rada pumpe) slučajevi sa primenjenim jednim, dva, tri i četiri vazdušna ventila, dok je za treći analizirani sistem sprovedena analiza naglog otvaranja zatvarača sa jednim, dva, tri, četiri, pet, šest i sedam primenjenih vazdušnih ventila, kao i sa primenjenom posudom pod pritiskom. Sprovedena je i analiza prelaznih režima usled naglog zatvaranja zatvarača sistema 3.

Rezultati su pokazali da će sistem 1 i sistem 2 biti sigurni u pogledu hidrauličkog udara ukoliko postavimo četiri vazdušna ventila, jedan koji se nalazi u blizini pumpe i nepovratnog ventila, i tri vazdušna ventila koji se nalaze duž cevovoda. Za sistem 3 postoje dva varijantna rešenja: da bi sistem bio adekvatno zaštićen, potrebno je primeniti sedam vazdušnih ventila, ili primeniti jednu posudu pod pritiskom. Na osnovu ekonomskog aspekta, izabrana je varijanta zaštite sistema posudom pod pritiskom.

7. LITERATURA

- [1] K. Urbanovicz, H.M. Ramos – „New Advances in Water Hammer Problems.“
- [2] M. Ivetić – „Računska hidraulika - Tečenje u cevima“, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1996.
- [3] aft.com – zvanični sajt kompanije „Applied Flow Technology“ (AFT).
- [4] Applied Flow Technology Corporation – „AFT Impulse 8 – Quick Start Guide“, 2020.

Kratka biografija:



Boban Županjac rođen je u Kraljevu 2000. godine. Diplomski rad iz oblasti građevinarstvo, na temu „Projekat hidrotehničkih radova na izmuljenju kanala Begej“, odbranio je 2023. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master studije istog fakulteta na studijskom programu Građevinarstvo, modul Hidrotehnika, upisao je 2023. godine.

Ljubomir Budinski rođen je u Kuli 1976. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je na Građevinskom fakultetu u Subotici.

**UNAPREĐENJE PROCESA KOMISIONIRANJA U MALOPRODAJNOM
DISTRIBUTIVNOM SKLADIŠTU****PICKING PROCESS IMPROVEMENT IN RETAIL DISTRIBUTION WAREHOUSE**

Isidora Zaharić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT/LOGISTIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu se razmatra unapređenje procesa komisioniranja uvođenjem glasovnog komisioniranja kao tehnološkog rešenja. Osnovni problem analize jeste neefikasnost postojećeg procesa komisioniranja uz pomoć bar-kod skenera, koje ograničava brzinu rada, povećava rizik od grešaka i zahteva duže vreme obuke zaposlenih. Cilj rada je istražiti mogućnosti primene glasovnog komisioniranja kako bi se smanjili navedeni problemi, ubrzao radni proces i povećala tačnost prilikom obavljanja zadataka.

Ključne reči: Distributivni centar, komisioniranje, pokazatelji komisioniranja.

Abstract – The study examines the improvement of the order picking process by introducing voice picking as a technological solution. The primary issue analyzed is the inefficiency of traditional barcode scanner-assisted picking, which limits work speed, increases the risk of errors, and requires longer training time. The aim of the study is to explore the possibilities of applying voice picking to reduce these issues, speed up the workflow, and improve task accuracy.

Keywords: Distribution center, picking process, picking indicators.

1. UVOD

S obzirom na rastuće zahteve za bržim, tačnijim i ekonomičnijim lancem snabdevanja, skladišta su prisiljena da se prilagode i usvoje nove tehnologije, kao što su automatizacija, robotika, veštačka inteligencija i internet stvari. Cilj ovog rada je dublje razumevanje uloge skladišta u modernom lancu snabdevanja i uticaj tehnoloških inovacija na planiranje skladišta, upravljanje i integrisanje u širu poslovnu strategiju. Kroz analizu praktičnog primera, rad istražuje prednosti i izazove koje donose ove tehnološke promene, kao i uticaj na produktivnost, efikasnost i troškove.

Težište rada je na opisu i analizi procesa komisioniranja koji imaju veliki značaj za funkcionisanje skladišta komadne robe, posebno u distributivnom delu logistike. U fokusu je proučavanje i uvođenje tehnoloških inovacija usmerenih na poboljšanje procesa komisioniranja, sa naglaskom na njihov doprinos produktivnosti rada u distributivnom skladištu.

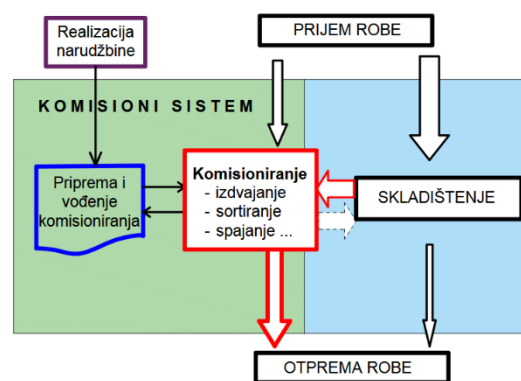
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Svetlana Nikoličić, red. prof.

Pri tome, težište je na istraživanju *Pick by Voice* tehnologije, tj. tehnologije koja bazira na glasovnom vođenju komisioniranja u skladištima, razlozima primene, karakteristikama i efektima koja ova tehnologija donosi. U tom kontekstu, ispitivana je mogućnost primene ove tehnologije u realnim uslovima, tj. u maloprodajnom distributivnom skladištu.

2. KOMISIONIRANJE KAO SKLADIŠNI PROCES

Efikasno upravljanje skladištima predstavlja važnu komponentu uspešnog lanca snabdevanja. Jedan od ključnih skladišnih procesa je komisioniranje, koje se odnosi na proces izdvajanja i pripreme robe za isporuku prema narudžbinama. Komisioniranje označava proces koji se realizuje u skladištima komadne robe i uključuje sve aktivnosti koje prate izdvajanje traženog asortimana robe prema vrsti i količini u cilju ispunjenja korisničkih narudžbina (Slika 1) [1].



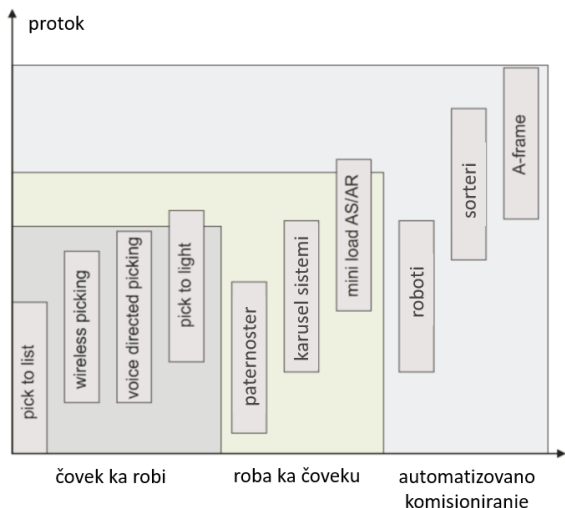
Slika 1. Komisioni sistem – pregled i međusobna povezanost aktivnosti [1]

Od svih procesa u koji se odvijaju u skladištu, komisioniranju se posvećuje najveća pažnja, iz razloga što je to radno najintenzivniji proces u skladištu i što generiše najviše troškova. Troškovi komisioniranja često premašuju 50% od ukupnih operativnih troškova skladišta, dok istovremeno 60% radnog angažovanja u skladištu prouzrokuju ovi procesi. Komisioniranje predstavlja proces koji u velikoj meri definiše kvalitet usluge koju skladište pruža.

Postoji više sistema za komisioniranje i više načina za njihovu klasifikaciju. tj sistemi za komisioniranje mogu se klasifikovati prema: politici obrade porudžbina kupaca, principu kretanja komisionera (čoveka) ili robe, prema

opremi koju koriste komisioneri, prema skladišnom prostoru. S aspekta kretanja komisionera ili robe, postoje sledeći sistemi: čovek - ka - robi, roba - ka - čoveku i automatski [2].

Kao pomoć pri realizaciji procesa komisioniranja, u zavisnosti od sistema komisioniranja, mogu se koristiti različite tehnologije (slika 2).



Slika 2. Sistemi i tehnologije komisioniranja u funkciji brzine odnosno protoka materijala [3]

Bar kod tehnologija ima veliku i značajnu primenu u velikim logističkim sistemima. Reč je o prilagodljivom sistemu koji se može integrisati u gotovo svim oblastima u kojima se zahteva automatsko očitavanje i prikupljanje podataka. Primena bar kod tehnologije u velikoj meri olakšava procese skladištenja robe u velikim skladišnim sistemima orjentisanim ka velikom broju artikala i opsluživanju velikih maloprodajnih lanaca. Bar kod ima višestruku funkciju, jer efikasno povezuje sektore logistike i prodaje, jer svaki proizvod ima svoj jedinstveni bar kod broj po kojem je prepoznatljiv u sistemu [3].

Tehnologija za komisioniranje na bazi glasovnih komandi - *Pick to voice* tehnologija - pruža mogućnost obavljanje više zadataka istovremeno što je uobičajeno za process komisioniranja. Glasovna tehnologija neposredno doprinosi preciznijem i efikasnijem komisioniranju što je navelo veliki broj distributera da počnu sa primenom ove tehnologije. Konstantni pritisci u distribuciji da se uradi više sa manje resursa podstakli su potragu za tehnologijom koja van granica tradicionalnih metoda može da poboljša proces komisioniranja.

Upotreba glasovne tehnologije za procese komisioniranja u skladištima, naročito u hladnjačama sa temperaturama ispod -25°C, pokazuje odlične rezultate. Dok ručni terminali postaju nepraktični zbog rukavica, ekrana i brzog trošenja baterije, glasovna tehnologija omogućava rad sa rukavicama i uz maksimalnu efikasnost. Takođe, kvalitetne slušalice omogućavaju efektivnu primenu i u uslovima visoke buke. Uvođenje upravljanja glasom pokazuje najbolje efekte u srednjim i velikim skladištima koja sadrže robu različitih veličina i vrsta, gde doprinosi značajnom povećanju efikasnosti i tačnosti u procesima rukovanja, selekcije i skladištenja.

3. ANALIZA I UNAPREĐENJE PROCESA KOMISIONIRANJA U DISTRIBUTIVNOM SKLADIŠTU

U maloprodajnom distributivnom skladištu koje je predmet ovog rada, komisioniranje se obavlja na tradicionalan način, a to je komisioniranje sa ručnim uređajima za skeniranje bar-kodova. S obzirom na veličinu objekta, broj artikala i broj dnevnih isporuka, ovo skladište zahteva efikasniji način komisioniranja kako bi artikli u najkraćem roku stigli do kupca. Predlog za unapređenje jeste istraživanje i uvođenje tehnologije za glasovno komisioniranje koja ima brojne prednosti u odnosu na tradicionalan način komisioniranja, kao što su povećana efikasnost, produktivnost i tačnost. U ovom radu, analizirani su procesi samo u ambijentalnom delu skladišta visokofrekventne robe, jer se očekuje da bi uvođenje glasovne tehnologije donelo brojne prednosti.

Uvođenje glasovnog komisioniranja je kompleksan proces koji zahteva određeni vremenski period i značajne investicije kako bi se na najbolji mogući način implementirao u postojeći sistem realizacije skladišnih procesa. Da bi se to postiglo, potrebno je istraživanje i analiza postojećeg stanja, predlozi unapređenja i integracija glasovne tehnologije sa postojećim sistemom za upravljanje skladištem, što predstavlja najkompleksniji korak ka implementaciji.

Da bi se opravdao značaj implementacije glasovne tehnologije, u ovom delu rada će biti objašnjeni postojeći procesi, način komunikacije operatera i sistema, željeno stanje, kao i uporedna analiza dva pomenuta načina komisioniranja.

3.1. Postojeći način komisioniranja

U maloprodajnom distributivnom skladištu, proces komisioniranja robe se obavlja pomoću ručnih terminala opremljenih skenerima za bar kodove.

Komisioniranju prethodi trebovanje (narudžbenica) od strane maloprodajnog objekta, a trebovanja se odobravaju kroz informacioni sistem kompanije i na osnovu toga se kreiraju nalozi za komisioniranje koji se šalju ka komisionerima.

Operater na svom uređaju dobija nalog koji sadrži spisak artikala koje treba prikupiti za određenu porudžbinu. Kako bi izdvojio robu sa određene lokacije, komisioner skenira bar-kod lokacije kako bi potvrdio ispravno mesto, uz zvučni signal koji potvrđuje tačnost ili upozorava na grešku.

Komisioner zatim skenira bar kod na paleti s robom i izdvaja određeni proizvod. Postupak se ponavlja na svakoj lokaciji navedenoj u nalogu za komisioniranje.

Kad završi komisioniranje svih proizvoda iz naloga, komisioner na ručnom uređaju potvrđuje da je završio svoje aktivnosti. Nakon što dobije potvrdu o izvršenim aktivnostima, ažuriraju se podaci što automatski pokreće proces štampanja otpremnice za maloprodajni objekat, a paleta se odlaže na plato za otpremu.

Komisioniranje uz pomoć uređaja sa bar kod skenerima podrazumeva proces u kojem komisioneri skeniraju bar kodove proizvoda kako bi potvrdili njihovu ispravnost i pripremili ih za isporuku. Ova metoda omogućava preciznost u izboru artikala, ali može usporiti rad zbog potrebe za korišćenjem ruku i skenera, što može biti

nepraktično kod rukovanja većim ili težim proizvodima. Iako skeneri pružaju visoku tačnost, njihova upotreba može uticati na smanjenje brzine komisioniranja, posebno u dinamičnim skladišnim okruženjima.

Komisioner je obavezan da koristi uređaj za skeniranje na svakoj poziciji i za svaki artikal koji preuzima. Nakon skeniranja, uređaj je potrebno odložiti kako bi se olakšalo rukovanje robom. Takođe, neophodno je stalno praćenje ispisa na ekranu uređaja, što dodatno ugrožava bezbednost komisionera. Skeniranje, odlaganje uređaja, praćenje ispisa, a samim tim i smanjena produktivnost, najveći su nedostaci ovog načina rada.

3.2. Komisioniranje primenom glasovne tehnologije

Implementacija glasovne tehnologije zahteva angažovanje resursa i odgovarajuće opreme kako bi se prikupile sve potrebne informacije i stvorili uslovi za efikasno upravljanje projektom i pravilno uvođenje nove tehnologije u postojeći sistem. Angažovanje resursa uključuje saradnju svih relevantnih strana koje treba da učestvuju u projektu, kao što su programeri koji rade na razvoju, vlasnici projekta koji upravljaju celokupnim projektom, kao i ostali ključni članovi, poput supervizora skladišta.

Sistem za upravljanjem skladišta dobija informacije o porudžbinama sa više od 500 lokacija svakog dana. Na osnovu dobijenih podataka, sistem ih obrađuje i računa optimalni redosled komisioniranja koji se prenosi preko posredničkog softvera putem mreže do slušalica operatera u vidu glasovnih komandi.

Svako paletno mesto u skladištu je označeno kako bi se eliminisala mogućnost greške pri komisioniranju. Ta oznaka je u vidu bar-koda koji u sebi sadrži informaciju o tačnoj lokaciji, odnosno broj prolaza, regala i nivo. Sistem se vodi tako označenim lokacijama, pa operatera prvo obaveštava o broju prolaza, zatim o broju regala i na kraju sa kojeg nivoa je potrebno preuzeti artikal. Bez obzira na tačnost koju bar-kodovi pružaju, poželjan je još jedan dodatni nivo verifikacije, a to je kontrolna cifra. Kontrolne cifre su nasumični dvocifreni brojevi i nalaze se iznad svake komisione pozicije. Podeljeni su u 4 različite boje i 4 različite cifre. Ovakav način dodatne provere povećava tačnost, smanjuje broj grešaka i ne stvara dodatni napor za operatera.

Svaki novozaposleni operater pre započinjanja procesa komisioniranja, prolazi trening na kojem ponavlja sve komande koje će koristiti u komunikaciji sa sistemom i na taj način trenira sistem koji će prepoznati njegov glas i komande.

Na ovaj način se komisioniranje obavlja ujednačeno, precizno i tačno, što je jedna od najvećih prednosti glasovne tehnologije. Takođe, komisioniranje se odvija brže, produktivnost je povećana, a bezbednost zaposlenih je poboljšana.

3.3. Komparacija procesa komisioniranja primenom bar-kod tehnologije i glasovne tehnologije

U cilu poređenje postojećeg načina komisioniranja sa uređajima sa bar-kod čitačima i sistema za glasovno komisioniranje, kreirani su fiktivni nalozi koji su realizovani na dva načina u realnim radnim uslovima. Za

kvantifikaciju procesa komisioniranja korišćeno je vreme komisioniranja i pređeni put za jedan nalog primenom dve različite tehnologije.

Iako je simulacija odrađena u realnim radnim uslovima, rezultate treba uzeti sa rezervom, jer zavise od rada operatera, njegovog iskustva i potencijalnih problema pri komisioniranju. U tabeli 1. su prikazani dobijeni rezultati komisioniranja jednog naloga primenom ove dve tehnologije. Primećuje se značajna ušteda u vremenu komisioniranja u korist glasovne tehnologije. Ušteda u vremenu putovanja postoji, ali je manja od vremena komisioniranja, jer je put isti, ali ušteda nastaje pri izgovoru određenih komandi u toku putovanja, a takve funkcije sa bar-kod skenerom su moguće samo dok operater miruje i unosi podatke u ručni uređaj. Osim toga, primećena je značajna ušteda u vremenu kada se na lokaciji prijavljuje manjak proizvoda. U tom slučaju, na ručnom uređaju sa bar-kod skenerom je potrebno uneti sve tražene podatke o artiklu i količini koja nedostaje, dok je kod glasovne tehnologije takav proces dosta pojednostavljen i svodi se na nekoliko glasovnih komandi.

Tabela 1. Sumirani rezultati

	Ručni bar-kod uređaj [mm:ss]	Glasovna tehnologija [mm:ss]	Poboljšanje u utrošenom vremenu [%]
Ukupno vreme komisioniranja	04:31	02:55	35%
Ukupan put	03:27	02:56	15%
Ukupno vreme izvršenja naloga	07:58	05:51	27%
Prosečno vreme komisioniranja	00:17	00:11	35%
Prosečno vreme provedeno u putu	00:14	00:12	15%

Prosečna produktivnost primenom tehnologije bar-kod skeniranja je 1050 kutija u smeni po operateru. Procenjuje se da će produktivnost sa glasovnom tehnologijom biti 13% veća, tj. 1200 kutija u smeni po operateru (tablea 2). To dovodi do smanjenja broja komisionera sa 55 na 48, a samim tim i do uštede.

Tabela 2. Produktivnost komisionera

	Bar-kod tehnologija	Glasovna tehnologija
Broj komisionera u jednom danu	55	48
Broj kutija po komisioneru u smeni	1050	1200

Prelazak sa bar kod skeniranja na glasovno upravljanje značajno skraćuje vreme obuke radnika. Dok skeniranje zahteva učenje pravilnog korišćenja skenera i skeniranja svakog artikla, glasovno upravljanje omogućava intuitivniji i brži proces. Radnici se lakše prilagođavaju sistemu jer koriste jednostavne glasovne komande, što smanjuje potrebu za tehničkim znanjem. Time se ubrzava obuka novih zaposlenih, a istovremeno se povećava njihova efikasnost u radu. Pretpostavka je da će se vreme obuke skratiti za oko 30%.

Uvođenje glasovnog upravljanja umesto bar-kod skenera može značajno povećati zadovoljstvo zaposlenih. Ovaj sistem omogućava radnicima da imaju slobodne ruke i oči, što olakšava obavljanje zadataka i smanjuje fizički napor. Takođe, kraće vreme obuke doprinosi bržem prilagođavanju, smanjuje stres i poboljšava radno iskustvo, što sve zajedno doprinosi većem zadovoljstvu na poslu.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se istraži postojeći način poslovanja i proces komisioniranja, kako bi se identifikovali nedostaci trenutnog sistema i pronašao efikasniji pristup. Ideja unapređenja leži u implementaciji glasovne tehnologije, koja donosi niz prednosti u poređenju sa tradicionalnim metodama. Ova tehnologija ne samo da pojednostavljuje radne procese, već uvodi i napredne funkcionalnosti koje dodatno poboljšavaju ukupnu efikasnost skladišta.

Uvođenje glasovnog komisioniranja u kompaniji pokazalo je značajne prednosti, uključujući veću produktivnost, kraće vreme obuke, smanjenje broja grešaka i fizičkog opterećenja operatera. U posmatranom primeru u radu, efekti primene glasovnog komisioniranja ogledaju se kroz:

- povećanje produktivnosti za 13%,
- smanjenje grešaka za 25%,
- kraće vreme obuke,
- mogućnost zapošljavanja operatera sa drugih govornih područja, itd.

Da bi se uspešno implementirala nova tehnologija, neophodno je detaljno analizirati postojeće stanje i prikupiti sve relevantne informacije potrebne za razvoj novog rešenja. Proces implementacije zahteva vreme, značajne resurse i prilagođavanje postojećih sistema, ali rezultati donose brojne benefite. Glasovna tehnologija omogućava optimizaciju radnih zadataka, smanjenje grešaka, poboljšanje produktivnosti i povećanje sigurnosti operatera. Na kraju, ulaganje u ovu modernu tehnologiju vodi ka smanjenju operativnih troškova i omogućava kompaniji da efikasnije odgovara na zahteve tržišta, obezbeđujući dugoročnu konkurentsku prednost. Ova investicija, iako zahtevna, dokazala se kao isplativa i značajno je poboljšala skladišne procese.

5. LITERATURA

- [1] Vukićević, S. (1995.) *Skladišta*, Beograd, Preving
- [2] Nikoličić, S., *Skripte sa predavanja*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] Živanić D. (2012): *Logistika i simulacije tokova materijala kao podloga za optimalan izbor transportno skladišnih sistema*, Doktorska teza, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [4] Lazarević, M, (2016) *Primena savremenih tehnologija u komisioniranju robe*. Master rad. Univerzitet u Novom Sadu: Fakultet tehničkih nauka,

Kratka biografija:

Isidora Zaharić rođena je u Rumi 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport – Logistika, sa temom: Unapređenje procesa komisioniranja u maloprodajnom distributivnom skladištu odbranila je 2024.god. Kontakt: zaharicisidora@yahoo.com

**ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ И СИГНАЛНИХ ИНСТАЛАЦИЈА
НА ПОДРУЧЈУ НАСЕЉА ЖЕЛЕЗНИК****CONCEPTUAL PROJECT OF TELECOMMUNICATION AND SIGNAL
INSTALLATIONS IN THE AREA ON ŽELEZNIK SETTLEMENT**

Дејана Аничих, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – САОБРАЋАЈНО ИНЖЕЊЕРСТВО

Кратки садржај – Овај рад представља идејни пројекат телекомуникационих и сигналних инсталација на подручју насеља Железник. Главни циљ пројекта јесте унапређење комуникационе инфраструктуре кроз имплементацију напредних телекомуникационих технологија које ће обезбедити стабилан и брз пренос информација. Пројекат обухвата анализу тренутне инфраструктуре, планирање нове мреже, избор одговарајуће опреме, и детаљан план имплементације и одржавања.

Кључне речи: Телекомуникације, сигналне инсталације, информационо-комуникационе технологије, инфраструктура, Идејни пројекат, Железник

Abstract - This master thesis presents the conceptual design of telecommunication and signal installations in the area of Železnik. The main goal of the project is to improve the communication infrastructure through the implementation of advanced telecommunication technologies that will ensure stable and fast information transfer. The project includes an analysis of the current infrastructure, planning of the new network, selection of appropriate equipment, and a detailed implementation and maintenance plan.

Keywords: Telecommunications, signal installations, information and communication technologies, infrastructure, Conceptual project, Železnik

УВОД

У савременом добу, комуникационе сигналне инсталације представљају кључни сегмент инфраструктуре сваке организације, предузећа и јавних служби. Пројекат комуникационих сигналних инсталација подразумева детаљно планирање, дизајн и имплементацију система као што су телефонске мреже, интерком системи, видео-надзорни системи, противпожарни аларми, као и мреже за пренос података.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Предраг Атанасковић, ред. проф.

**1. ИНФОРМАЦИОНО КОМУНИКАЦИОНЕ
ТЕХНОЛОГИЈЕ - ИКТ**

Стратешка знања и компетенције се развијају интерактивно и деле се унутар група и мрежа, чиме се формира економија која је мрежа хијерархија, што убрзава ниво промена и ниво знања. У овом процесу, кључну улогу играју информационо-комуникационе технологије (ИКТ).

Информационо-комуникационе технологије пружају појединцима могућност приступа информацијама, олакшавају социјалну интеракцију, омогућавају приступ образовању и здравственој заштити, те отварају нове пословне перспективе. Међутим, ограничен утицај ИКТ на макроекономском нивоу у многим земљама Организације за економску сарадњу и развој (енг. *Organisation for Economic Co-operation and Development -OECD-a*) не произилази нужно из недостатка улагања у саме технологије, већ из потребе за додатним променама и инвестицијама које би омогућиле потпуну експлоатацију њиховог потенцијала [1]. Земље које развијају нове технологије и подстичу њихову примену, као и оне које стварају иновације, остварују бржи раст у поређењу са земљама које не промовишу ове активности [2].

Широка примена ИКТ током последњих десет година изазвала је значајну трансформацију света у информатичко друштво. Напредак у техничко-економским аспектима високотехнолошких иновација значајно доприноси повећању рачунарске снаге и интелектуалног капацитета производа. Осим тога, убрзава се и промена застарелих стандарда и технолошких платформи информационо-комуникационих система и мрежа [3].

Велики напредак у ИКТ заснован је на комуникационој компоненти, која омогућава доступност база података, програма и услуга без обзира на географску локацију.

ИКТ доприноси пословном успеху и економском учинку компанија када се комбинују са улагањима у вештине, организационе промене и иновације. Развој ИКТ значајно утиче на привреду и друге аспекте људског живота, претварајући свет у информатичко друштво.

Савремена технологија у транспорту, укључујући аутономна и повезана возила, обећава побољшање управљања саобраћајем и чистијег ваздуха.

Прецизно мапирање саобраћаја и реално-временска анализа постају могући захваљујући савременим системима и технологијама мобилних уређаја. ИКТ доприноси одрживости транспорта кроз интелигентне системе управљања саобраћајем, сензоре и ГПС технологије, смањујући потрошњу горива и загађење.



Слика 1. Информационе технологије и развој инфраструктуре у саобраћају [4]

2. ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИ САОБРАЋАЈ

Комуникација је процес размене информација кроз одређени комуникацијски систем. Информације се могу преносити кроз комуникационе системе на два начина: жичним и бежичним путем.

Телекомуникациони саобраћај подразумева пренос различитих типова информација кроз телекомуникациону мрежу према утврђеним протоколима и правилима.

Мреже се састоје од чворова повезаних гранама и укључују заштитне мере против сметњи и судара сигнала.

Савремени комуникацијски системи теже ка разноврсности путања преноса ради бољег искоришћења капацитета.

У областима саобраћаја и комуникација, велики број инжењера ради на пословима управљања и пројектовања комуникационих система,

Ресурси у свим видовима саобраћаја су ограничени, што је посебно изражено код бежичног преноса информација. У телекомуникационом саобраћају постоје различите технологије које се разликују по квалитету, могућностима и цени.

Захтеви корисника за већим брзинама у приступним телекомуникацијским мрежама свакодневно расту.

Оптичка инфраструктура се све чешће примењује у приступним мрежама ради задовољења захтева за већим брзинама и пропусним опсезима.

Телекомуникацијски оператори теже максималном искоришћењу доступних ресурса, развијајући различите комуникацијске технологије попут ADSL.

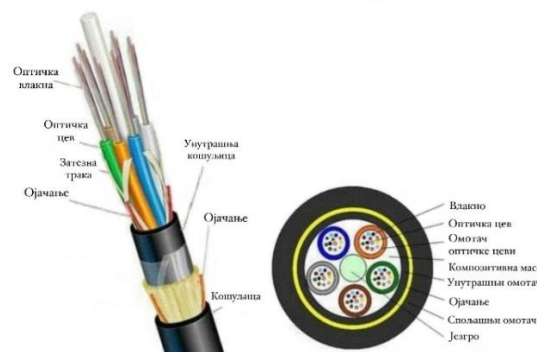
2.1 Коаксијални и оптички каблови

Коаксијални каблови:

Користе се за пренос сигнала у телекомуникацијама и телевизији. Отпорни су на електромагнетне сметње и могу преносити сигнале на велике удаљености. Имају ниже брзине преноса у поређењу са модерним кабловима.

Оптички каблови:

Користе светлосне импулсе за пренос информација. Имају висок капацитет преноса и мањи губици сигнала. Отпорни на електромагнетне сметње и сигурнији од коаксијалних каблова. Високи почетни трошкови и компликована инсталација. Кључни за модерне телекомуникационе мреже и интернет повезивање.



Слика 4. Оптички кабл са приказом компоненти [5]

Будућност оптичких каблова:

Потреба за оптичким кабловима ће наставити да расте са развојем технологија попут 5G мрежа и интернета ствари (IoT). Они ће играти кључну улогу у омогућавању бржег и ефикаснијег преноса података.

3. УПРАВЉАЊЕ ПРОЈЕКТИМА

Управљање пројектима представља широко прихваћен приступ за реализацију пословних иницијатива - пројеката, кроз пажљиво планирање, праћење и контролу времена, ресурса и трошкова [6, 7].

Управљање пројектима комбинује алате, људе и системе, где алати укључују рачунаре и софтверске пакете, а људи чине организације и пројектне тимове [8].

План пројекта обухвата неколико компоненти које колективно резултирају реалистичним и добро планираним редоследом акција и процеса [9].

3.1 Фазе пројекта и учесници у пројекту

Животни циклус пројекта обухвата фазе покретања, планирања, извршавања и затварања. Учесће у пројекту може бити веома разнолико и зависи од врсте пројекта, његове сврхе и обима. Учесници у пројекту укључују инвеститоре, снабдеваче, консултанте, пројектанте, подизвођаче, финансијске институције и надзор.

3.2 Специфичности ИКТ пројекта

Животни циклус ИКТ пројекта обухвата фазе започињања, спровођења и завршетка, са додатном фазом сагледавања захтева због њеног значаја за ИКТ пројекте [10]. У фази покретања пројекта укључени су истраживање тржишта, презентација производа, припрема и подношење понуда, као и процес уговарања.

Оснивање пројекта укључује дефинисање кључних учесника и њихових улога, организацију пројекта и алтернативе.

Сагледавање захтева је кључно за ИКТ пројекте, посебно за софтверске пројекте, јер је важно успоставити јасну комуникацију са корисником.

Према закону о планирању и изградњи, Техничка документација израђује се као:

1. Генерални пројекат (са ПСО)
2. Идејно решење
3. Идејни пројекат (са СО)
4. Пројекат за грађевинску дозволу
5. Пројекат за извођење
6. Пројекат изведеног објекта

4. ОПИС ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА, ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА И ИДЕЈНОГ ПРОЈЕКТА НА ПОДРУЧЈУ НАСЕЉА ЖЕЛЕЗНИК

4.1 Подаци о насељу Железник

Железник је смештен у општини Чукарица на око 12 километара југозападно од централног дела Београда. Границе насеља обухватају подручје између реке Саве на северу и планинских предела на југу. Железник има значајан број становника са популацијом која се креће од неколико десетина хиљада људи. Према последњем попису становништва из 2011. године има око 26,000 становника. Насеље је познато по својој разноликој демографској структури укључујући различите етничке и социјалне групе. Познат је по својим индустријским постројењима укључујући фабрике и производне погоне.

4.2 Текстуална документација – техничко решење

Техничка документација се саставља на основу званичних података добијених од Републичког Геодетског Завода (РГЗ), укључујући информације о катастарским парцелама, објектима и путевима, информације о постојећој инфраструктури и катастра водова (водовод, канализација, електро и телекомуникациони каблови и др.). На основу прикупљених података приступа се изради Техничког решења које укључује груписање корисника, трасирање каблова и цеви, дефинисање резерви и капацитета те оптимизацију траса и капацитета. Приликом планирања трасе и позиција елемената мреже важно је водити рачуна о приступачности, утицају на друге инфраструктуре и минимализацији укрштања са путевима и пругама.

Техничко решење се континуирано прилагођава и надограђује. Почетно решење се интегрише у Идејно решење, које обухвата основне техничке описе и ситуацију трасе.

Планирана је даља урбанизација и модернизација са унапређењем саобраћајних веза и развојем нових стамбених комплекса.

4.3 Постојеће стање

Подручје Железника се може сматрати урбаним, субурбаним и руралним подручјем према површини коју заузима и густини насељености. Поред индустрије, насеље има развијену инфраструктуру са

школама, здравственим установама, спортским центрима и трговачким објектима. Саобраћајна повезаност је добра са редовним аутобуским линијама које повезују Железник са остатком Београда.

Са плановима за даљу урбанизацију и модернизацију, Железник има потенцијал да постане још значајнији део Београда. Планови за инфраструктурне пројекте попут унапређења саобраћајних веза и развој нових стамбених комплекса, спровођење телекомуникационих и сигналних инсталација указују на светлу будућност овог насеља.

4.4 Технички опис

Насеље Железник, дефиниран као Кластер 1, подељен је на 3 главна оптичка кабла (гОК1, гОК2 и гОК3). Главни кабл гОК-н (н=1;2;3) капацитета 288 оптичких влакана полази из просторије АТЦ Железник на адреси Авалска 23, где се налази постојећи линијски оптички разделник и рутер *Huawei*. Потребно је монтирати нови *ODF* (енг. *Optical Distribution Frame*) и *OLT* у просторији АТЦ Железник, на који ће бити прикључен главни кабл кластера 1 Железник. Главни оптички кабл (у даљем тексту гОК1, гОК2, гОК3) капацитета 288 оптичких влакана полази од *ODF* -а, пролази кроз технички канал из просторије АТЦ-а, те се увлачи кроз постојећу ТТК канализацију кроз заштитне ПЕ цеви пречника 40мм, постављене на распонима између окана до наставка: Н1 (ПКО 24) - гОК1; Н1 (ПКО 10) – гОК2; Н1 (ПКО 1) – гОК3.

4.5 Технике извођења радова

Правилна организација рада кључна је за ефикасно извођење и смањење трошкова пројекта. На основу лицитације, инвеститор бира најповољнијег извођача, након чега почиње рок за радове. Пре почетка радова, неопходно је обавестити надлежна предузећа која су својим техничким условима или сагласностима поставила обавезу праћења радова од стране њиховог надзорног особља. Ова процедура осигурава да сви радови буду у складу са задатим стандардима и регулативама, омогућавајући тако координацију и транспарентност у свим фазама пројекта.

Радове обухваћене овим пројектом потребно је извести квалитетно, уз поштовање техничких упутстава и коришћење опреме која је израђена и атестирана у складу са важећим техничким стандардима.

Радови се могу поделити у две главне категорије:

1. Грађевински радови
2. Монтажни радови

Грађевински радови обухватају изградњу инфраструктуре која је потребна за монтажу, односно за постављање каблова и оптичких компоненти.

5. MICROSOFT PROJECT – ТЕХНИЧКО ИВОЂЕЊЕ РАДОВА

Microsoft Project је софтвер за управљање пројектима који омогућава планирање, распоређивање и праћење

задаката, дефинисање циљева, планирање ресурса, процену трошкова и времена. Софтвер помаже у координацији тимова, дефинисању задатака, постављању приоритета, идентификацији критичних путева и оптимизацији ресурса. Корисницима омогућава визуализацију пројектног плана кроз Гантове графиконе и мрежне дијаграме. Подржава креирање извештаја и анализа, интеграцију са другим *Microsoft* алатима, и подржава различите методологије управљања пројектима.

У *Microsoft Project*-у, пројекат "Техничко извођење радова" почиње 20.12.2023. године и завршава се 4.4.2024. године.

Техничко извођење радова обухвата грађевинске и инсталационе радове, са кључним догађајима као milestone активностима.

Активности су подељене на грађевинске радове и инсталационе и монтажне радове. Почетак и завршетак пројекта представљају кључне догађаје, односно *milestone* активности. Ресурси укључују људске ресурсе, материјале и опрему, са подацима о ценама рада. Ангажовање свих ресурса је 100%, са стандардним вредностима радног сата и укупним трошковима. Везе између активности које су коришћене у оквиру ових технолошких процеса укључују: FS (заврши да би почео) и SS (почни да би почео).

Пројекат је завршен са проценатом завршености од 100%, а трошкови су једнаки укупним планираним трошковима.

6. ЗАКЉУЧАК

Информационо-комуникационе технологије (ИКТ) играју кључну улогу у свакодневном животу и пословању. Развој телекомуникационог саобраћаја је директно повезан са растућим потребама корисника за брзим, поузданим и ефикасним начинима преноса података. У овом контексту, оптичке мреже се издвајају као најефикасније решење, нудећи супериорне перформансе у односу на традиционалне технологије преноса података. Управљање пројектима омогућава планирање, организовање и праћење свих фаза развоја телекомуникационих инфраструктура, осигуравајући да се пројекти реализују унутар предвиђених временских оквира и буџета, уз постизање жељених квалитативних циљева. Посебан нагласак је стављен на растућу потребу корисника за високим брзинама интернета и повећаним капацитетом мреже, што оптичке мреже могу обезбедити захваљујући својој способности да преносе велике количине података на дугим растојањима без значајног губитка сигнала.

Унапређење телекомуникационих мрежа и ефикасно управљање пројектима су кључни фактори за будући развој и економски раст. Пример насеља Железник показује како применом савремених технологија можемо значајно побољшати локалну инфраструктуру и квалитет живота грађана.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Домазет, И. (2018). Digital transformation of the business portfolio through DCRM. У: Digital Transformation-New Challenges and Business Opportunities, Уредник: Радовић-Марковић М. 214-235.
- [2] Домазет, И. и Лазаревић, М. (2022). Internet Marketing: Factor of Improving SME Business in Serbia. In J. Andrade & T. Ruão (Eds.), Navigating Digital Communication and Challenges for Organizations (pp. 202-222). IGI Global. doi.org/10.4018/978-1-7998-9790-3.ch012.
- [3] Симовић В. et al. (2022). Identification of Opportunities as the Component of Digital Entrepreneurial Competences of University Students: A pilot study in Kuwait and Serbia. In: ICEEG 2022: 2022 6th International Conference on ECommerce, E-Business and E-Government. Association for Computing Machinery, Plymouth, 201-206.
- [4] Диковић Н., Коришћење ИТ у саобраћајним објектима. Преузето 8.6.2024. са: <https://natalijadikovic.weebly.com/105010861088108010961115107711141077-10481058-1091-108910721086107310881072111510721112108510801084-108610731112107710821090108010841072.html>
- [5] Електронски факултет Ниш, Оптички каблови – оптичка комуникација. Преузето 8.6.2024. са: <https://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/5-Opticki-kablovi-.pdf>
- [6] Jovanović P. (2008). Upravljanje projektom, VIII izdanje, Beograd.
- [7] A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK, Project Management Institute, Fourth Edition, 2008.
- [8] Lewis, J.P. (2011). Project planning, scheduling and control: The ultimate hands-on guide to bringing projects in on time and on budget. New York, NY: McGraw-Hill.
- [9] Harris, J., Roussel, L., Dearman, C., Thomas, P. (2020). Project planning and management. A guide for nurses and interprofessional teams. Burlington: Jones & Barlett Learning. [8] 5 Whys Technique: Basics, Examples and Tips | The Business Analyst Job Description, Datum pristupa 23.04.2024.
- [10] Raković R. (2010). Upravljanje ICT projektima, VŠPM, Beograd.

Кратка биографија:



Дејана Аничич рођена је у Сомбору 1998. год. Завршила је Саобраћај и транспорт на Факултету техничких наука у Новом Саду 2021. год. Исте године уписала је мастер студије на смеру Пројектовање и организација. Контакт: dejanaanicic123@gmail.com

UNAPREĐENJE KOMISIONIRANJA UPOTREBOM SORTIRNIH ROBOTA IMPROVING ORDER PICKING THROUGH THE USE OF SORTING ROBOTS

Tijana Vujinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT

Kratak sadržaj – Težište ovog rada je na istraživanju mogućnosti racionalizacije komisionih procesa kroz njihovu automatizaciju. Cilj rada je racionalizacija procesa komisioniranja robe u postojećem skladištu jedne kompanije koje se istražuje kroz automatizaciju i uvođenje sortirnih robota u skladišni sistem. Za istraživanje je korišćeno simulaciono modelovanje postojećih i projektovanih komisionih procesa u realnom skladišnom sistemu. Simulacioni modeli su razvijeni u simulacionom softveru „FlexSim“ i omogućili su da se porede različite varijante realizacije komisionih procesa prema prethodno definisanim parametrima.

Ključne reči: Komisioniranje, AMR vozila, simulacija.

Abstract – The focus of this work is on exploring the possibilities for rationalizing picking processes through automation. The aim of the study is to optimize the goods picking process in an existing warehouse of a company, investigated through the automation and introduction of sorting robots into the warehouse system. The research utilized simulation modeling of both existing and proposed picking processes in a real warehouse system. Simulation models were developed using the "FlexSim" simulation software, allowing for the comparison of different variants of the picking processes according to previously defined parameters.

Keywords: Order picking, AMR vehicles, simulation.

1. UVOD

Komisioniranje je veoma važan proces koji se realizuje u skladištima za komadne terete i obuhvata aktivnosti izdvajanja traženih artikala prema specifikacijama narudžbina. Njegova efikasnost zavisi od primenjene skladišne tehnologije, organizacije prostora i primenjenih strategija upravljanja. Zbog visokih troškova i obima aktivnosti, komisioniranje se kontinuirano istražuje i unapređuje kako bi se optimizovali procesi, povećala produktivnost i smanjile greške.

Fokus ovog rada je istraživanje potencijala za unapređenje komisionih procesa kroz automatizaciju i uvođenje sortirnih robota. Za istraživanje je korišćeno simulaciono modelovanje postojećih i projektovanih (uz primenu robota) komisionih procesa u realnom skladišnom sistemu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Svetlana Nikolić, red. prof.

Simulacioni modeli su razvijeni u simulacionom softveru „FlexSim“ i omogućili su da se porede različite varijante realizacije komisionih procesa prema prethodno definisanim parametrima (brzina, produktivnost i tačnost komisionih procesa). Simulacioni modeli omogućavaju poređenje više scenarija, uključujući različite kombinacije broja robota i količine sortirane robe.

2. SKLADIŠNI PROCESI

U okviru skladišnog sistema mogu se realizovati različiti prerađni procesi a najčešće su to: sortiranje, razdvajanje, spajanje, fizičko ili hemijsko delovanje na robu, pakovanje, označavanje, kao i proces komisioniranja koji će se obraditi u daljem tekstu.

2.1. Komisioniranje kao prerađni proces u skladištu

Komisioniranje je proces pripreme robe za otpremu prema nalogu kupca i uglavnom se sastoji od procesa sortiranja, rasformiranja i formiranja jedinica tereta. Komisioniranje predstavlja kompleksan proces, vremenski veoma zahtevan, sa najvećim učešćem u operativnim troškovima skladištenja i od velikog uticaja na kvalitet skladišne usluge. Jedan od načina za unapređenje procesa komisioniranja jeste uvođenje novih tehnoloških rešenja.

2.2. Faze komisioniranja

Komisioniranje se sastoji od tri faze: priprema, realizacija i kontrola. Priprema uključuje analizu narudžbenica i izradu plana komisioniranja, realizacija podrazumeva izdvajanje robe sa skladišnih pozicija, dok kontrola obuhvata proveru ispunjenja.

2.3. Sistemi i tehnologije komisioniranja

Sistemi za komisioniranje mogu se klasifikovati na različite načine, tj. prema: politici obrade porudžbina kupaca, principu kretanja komisionera (čoveka) ili robe, prema opremi koju koriste komisioneri, prema skladišnom prostoru. S aspekta kretanja komisionera ili robe, postoje sledeći sistemi: čovek - ka - robi, roba - ka - čoveku i automatski.

Komisioniranje po principu čovek - ka - robi, može biti bazirano na komisionim listama, bežičnom komisioniranju primenom bar-kod skeniranja, glasom usmerenom komisioniranju, uočavanju svetlosnih signala. Težište ovog rada je na istraživanju primene autonomnih mobilnih robota i za sortiranje odredene grupe proizvoda po kupcima.

2.4. Performanse procesa komisioniranja

U istraživanjima na području logistike i lanaca snabdevanja, koristi se sledeća klasifikacija performansi [1]:

- finansijske performanse;
- performanse produktivnosti;
- kvalitativne performanse;
- vremenske performanse.

Performanse procesa komisioniranja (proizvodnost, vreme odziva, nivo tačnosti - grešaka, troškovi i sl) u velikoj meri zavise od izabrane - primenjene tehnologije skladištenja, *layout*-a, podsistema komisioniranja. Zbog velikog obima aktivnosti, troškova koje komisioniranje generiše, ono je predmet stalnih istraživanja u cilju unapređenja i racionalizacije.

3. OPIS I ANALIZA POSTOJEĆIH PROCESA KOMISIONIRANJA

U ovom radu, težište je na analizi i unapređenju postojećih procesa komisioniranja u realnom skladišnom sistemu. Posmatranje postojećih procesa rada obavljeno je u logističkoj kompaniji u trajanju od sedam dana. Iz postojećeg asortimana, izdvojena je jedna grupa visokoobrtne robe u okviru koje postoji 68 različitih vrsta proizvoda, ali su sve vrste istih dimenzija, oblika, težine. Posmatranjem postojećeg procesa komisioniranja uočeni su parametri koji idu u prilog uvođenju automatizacije, kao što su prostor kojim skladište raspolaže kao i količina robe koja se svakodnevno komisionira (tabela 1), kretanje radnika i razdaljina koju prelaze, nošenje i sortiranje robe ručno, količina robe koju je moguće sortirati, vreme potrebno za provere i krajnje pakovanje za dostavu, samim tim i produktivnost i učešće grešaka.

Tabela 1. Prikaz broja porudžbina na dnevnom nivou

Novi Sad	Broj porudž. /dan	Količina/ dan [komad]	Kol./ radnik/smena [kom]	Kol./ rad./ 1h [kom]
27.2.2024.	873	35.684	8.921	1.700
28.2.2024.	988	41.717	10.429	1.700
29.2.2024.	1.004	39.145	9.786	1.700
1.3.2024.	505	21.009	5.252	1.700
2.3.2024.	402	21.004	5.251	1.700

Detaljan pregled rada i funkcionisanja novosadskog skladišta obavljen je poslednje nedelje februara 2024. godine kada je nadgledan rad i funkcionisanje radnika u sve tri smene.. Četvrte nedelje svakog meseca dolazi do značajnog porasta u prodaji posmatrane vrste robe. Snimanje komisionih procesa omogućilo je identifikaciju grešaka i uvid u mogućnosti za poboljšanje i racionalizaciju. Na osnovu analize realnog sistema, razvijeni su simulacioni modeli koji obuhvataju sve relevantne aspekte i mehanizme, kao što su objekti, oprema i pravila rada. Modeli su izrađeni u softveru „FlexSim“ i realno oponašaju korišćenje robota u procesu komisioniranja.

4. AUTOMATIZACIJA SKLADIŠTA

Automatizacija skladišta se odnosi na upotrebu tehnologija i softvera za automatizaciju različitih zadataka koji se ponavljaju, uključujući upravljanje skladištem, komisioniranje, pakovanje i otpremu. Automatizacija procesa u skladišnim sistemima podrazumeva primenu tehnoloških rešenja i sistema kako bi se aktivnosti izvršavale bez ili sa minimalnim intervencijama ljudske radne snage. Ovo uključuje upotrebu različitih tehnologija, softvera i hardvera kako bi se poboljšala efikasnost, smanjili troškovi i povećala preciznost u upravljanju robom. Glavni cilj automatizacije u skladištima je optimizacija logističkih procesa, od prijema i skladištenja do pripreme i isporuke proizvoda [2].

4.1. Trendovi automatizacije skladišta

U skladištima se mogu primeniti različiti automatizovani sistemi, a neki od njih su: mobilni roboti kao usluga, kolaborativni roboti, automatizovana vođena vozila, automatizovani sistemi za sortiranje, sistemi za upravljanjem skladištem na različitim platformama, *Pick-to-Light* i *Put-to-Light* sistemi, sistemi za prepoznavanje bar-koda, kao i automatizovani sistemi mobilnih robota (detaljnije obrađeni u poglavlju 6). Koristeći ove tehnologije, preduzeća mogu da poboljšaju tačnost, efikasnost, bezbednost i održivost, istovremeno smanjujući troškove i optimizujući skladišni prostor.

4.2. Prednosti i nedostaci automatizacije

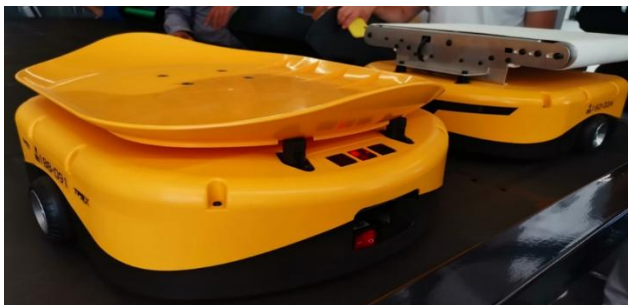
U industriji skladištenja automatizacija nudi određene prednosti, uključujući poboljšanu preciznost, veću efikasnost, unapređenje sigurnosti i minimiziranje troškova. Nedostaci automatizacije skladišta su malobrojni, ali ključni pri odlučivanju o investicijama. Novi sistemi mogu biti nestabilni, uz rizik loših proračuna, a autonomni sistemi su skloni kvarovima i zahtevaju stručne popravke, što može dovesti do zastoja. Takođe, u nekim slučajevima roboti ne mogu potpuno zameniti ljude, pa je često potrebna poluautomatizacija.

5. ROBOTIKA U SKLADIŠNIM SISTEMIMA

Robotika je spoj nauke, inženjeringa i tehnologije koja proizvodi mašine - robote, koje repliciraju ili zamenjuju ljudske akcije. Ovo je veoma važno jer je jedan od najvećih izazova sa kojima se danas suočava logistička industrija je dostupnost radne snage. Postoji više razloga za takvu situaciju prvi je uvođenje e-trgovine i promene u navikama ljudi da kupuju preko interneta, što dovodi do potrebe za većim brojem radnika u logističkim procesima, a drugi razlog je pad raspoložive radne snage zbog smanjenja broja stanovnika, kao i celokupne promene potražnje poslova u društvu. Roboti se obično dele u više kategorija, a neke od njih su: unapred programirani roboti, humanoidni roboti, autonomni roboti, teleoperativni roboti, kolaborativni roboti [3].

Prvi roboti korišćeni za industrijske potrebe uvedeni su 1961. godine kako bi obavljali složenije zadatke. Roboti su korišćeni za teške i ponavljajuće zadatke. Poslednjih 30 godina autonomni mobilni roboti su se drastično promenili. Današnji AMR-ovi (*Autonomous Mobile Robots* - AMR) (slika 1) mogu obavljati različite vrste zadataka i pomažu pri smanjenju troškova u mnogim

sektorima. Mogu raditi duže od normalnog radnog vremena, kao i vikendima i samim tim pomažu u smanjenju opterećenja radnika tokom pika proizvodnje, bez zapošljavanja dodatnih radnika u fabrikama i skladištima.



Slika 1. Autonomni mobilni roboti – LiBiao roboti

6. AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI

Autonomni mobilni roboti su novi oblik automatizacije koji uključuje robotsko paletiranje/depaletiranje i autonomne mobilne robote (AMR). AMR koriste senzorsku tehnologiju za transport robe po skladištima, ali za razliku od AGV-a (*Automated Guided Vehicle*), ne zahtevaju postavljenu stazu ili unapred postavljenu rutu između lokacija. Ovi mali i okretni roboti mogu identifikovati informacije na svakom paketu i precizno ih sortirati. Ovi roboti omogućavaju efikasnost, tačnost i sigurnost tokom procesa sortiranja.

6.1. Pametni sortirni roboti – LiBiao roboti

LiBiao roboti su roboti prvenstveno namenjeni za sortiranje. Prvi put su instalirani u Turskoj, od strane vodećeg turskog preduzeća *Kuryenet*, koje se bavi distribucijom paketa i poštanskim uslugama.

Automatizovani robotski sistem za sortiranje zahteva samo jednu petinu površine poda potrebne tradicionalnom transportnom sistemu. *LiBiao* roboti vrše sortiranje robe po naložima gde se pomoću skenera očitava vrsta robe i automatski se prepoznaje kom nalogu pripada ta roba i odvozi se do predviđenog mesta.

6.2. Zašto su *LiBiao* roboti AMR, a ne AGV

I AMR i AGV su robotska rešenja koja se koriste u manipulaciji materijalima u skladištima, distributivnim centrima i proizvodnim pogonima. Ove tehnologije automatizacije premeštaju materijale s jedne lokacije na drugu i čine protok materijala efikasnijim. Takođe pomažu u poboljšanju stopa grešaka i produktivnosti radnika. AMR je robot koji koristi senzore i može biti kontrolisan autonomno, bez potrebe za ručnim vođenjem ili markerima. Ključne razlike između AMR i AGV su: navigacija, izbegavanje prepreka, bezbednost, troškovi vlasništva, implementacija, fleksibilnost, reagovanje i održavanje [4].

AMR-ovi mogu pružiti slobodno kretanje i planiranje rute u realnom vremenu, što im omogućava da sarađuju sa ljudima u aktivnostima manipulisanja materijalima. Takođe imaju sposobnost brze promene zadataka, preusmeravanja oko prepreka i rada u gotovo svakom okruženju. Ove karakteristike im omogućavaju da se koriste za mnogo širi spektar zadataka od AGV-ova i zbog svega toga, *LiBiao* roboti spadaju u AMR-ove. Iako

su AGV-ovi prisutni duže vreme, AMR-ovi brzo postaju preferirani izbor za mnoge primene zbog svoje fleksibilnosti, vremena reagovanja i niskih potreba za održavanjem [4].

7. SIMULACIJA PROCESA KOMISIONIRANJA U SOFTVERU „FLEXSIM“

Osnovna prednost primene simulacionih modela, koji su razvijeni u različitim softverskim alatima, je da mogu da pomognu u utvrđivanju i praćenju zakonitosti karakterističnih za opisivane realne sisteme.

7.1. Simulacija diskretnih događaja

U tehnici, simulacija se koristi za modeliranje dinamičkih, stohastičkih sistema koji se diskretno menjaju. Sistem je skup različitih entiteta (ljudi i mašina) koji u toku vremena utiču uzajamno jedni na druge da bi ostvarili jedan ili više ciljeva.

Proizvodnja i transport su dinamički procesi, promenljivi u toku vremena. Dakle, stanje sistema, osobine entiteta i broj aktivnih entiteta, sadržaj setova, aktivnost, i kašnjenja koja se odigravaju su sve funkcije zavisne od vremena i menjaju se u toku vremena.

7.2. „FlexSim“

„FlexSim“ je softver za 3D simulaciju koji modelira, simulira, predviđa i vizualizuje poslovne sisteme u različitim sektorima (proizvodnja, zdravstvo, skladištenje, rudarstvo, logistika i dr). Softver „FlexSim“ može da se koristi za vizualizaciju rezultata predloženih promena radi optimizacije tokova proizvoda, za vizualizaciju rasporeda osoblja, iskorišćenosti resursa, dizajna raspodele prostora i skoro svaki drugi aspekt sistema. Zahvaljujući simulacionim softverima omogućeno je da se optimizuje sistem pre nego što se izvrše promene u realnim sistemima, čime se ostvaruju uštede u vremenu i novcu.

8. MODEL PROCESA KOMISIONIRANJA UPOTREBOM SORTIRNIH ROBOTA

Za unapređenje postojećih procesa komisioniranja predlaže se viši tehnološki nivo komisioniranja. Primena novih autonomnih mobilnih robota za sortiranje se istražuje u realnom skladišnom sistemu za određenu vrstu robe. Izabrana vrsta robe je pogodna za komisioniranje robotima jer su dimenzije pojedinačnih komada ujednačene za različite proizvode unutar izabrane grupe i nema velikih razlika u težini, te nema potrebe za korišćenjem različitih vrsta robota, što značajno smanjuje troškove nabavke i pojednostavljuje primenu ovog sistema.

8.1. Definisanje parametara modela

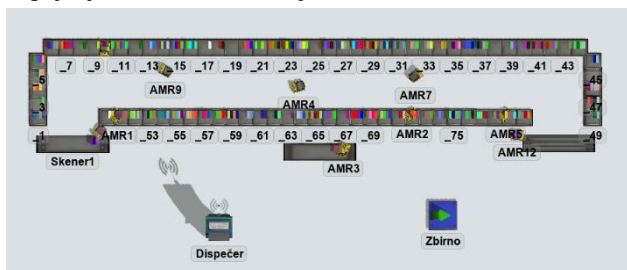
Simulacioni model je razvijen za praćenje parametara komisioniranja i stvaranja slikovitijeg prikaza moguće postavke automatizacije skladišta. Osnovne veličine korišćene za kreiranje simulacionog modela su: skladišni prostor, ograničeno vreme komisioniranja, rastojanja koja se prelaze, količina narudžbina (komada/dan) i broj određinih mesta za robu (šut).

Model koji se koristi približno prikazuje plan postavljanja i korišćenja AMR-a. On sadrži jedan izvor koji ima svoj tempo izbacivanja proizvoda, sadrži 2 mesta za skeniranje

proizvoda i raspoređivanje po robotima, 20 sortirnih robota i 80 šuteva za odlaganje proizvoda. U realnom sistemu neće postojati izvor koji će zadavati tempo pristizanja proizvoda, već će sva roba već biti zbirno odvojena u blizini pozicija za skeniranje. Plan je da roboti dolaze do skenera gde se roba ručno postavlja na robota za sortiranje sa bar-kodom okrenutim ka gore da bi se automatski skenirao i nakon skeniranja robe robot zna u koji šut treba da odveze robu. Kako su u pitanju AMR vozila, ona se kreću određenom putanjom pri nailasku na drugo vozilo lako se obilaze da bi stigli do potrebne lokacije gde odlažu robu u šut. Šutevi predstavljaju kupce, što znači da se može istovremeno opsluživati 80 kupaca. Nakon što se rasporedi roba za tih 80, pušta se naredni nalog koji sadrži narudžbine narednih 80 kupaca.

8.2. Prikaz strukture modela

Izgled kreiranog modela je prikazan na slici 2, ovaj model je napravljen u ovom obliku da bi se što realističnije prikazala putanja AMR-a, kao i lakše preglednosti u softveru. Model, naravno, ima određena ograničenja i nije u potpunosti precizan, jer se ne uzimaju u obzir određena ubrzanja i usporenja, ljudske greške, vreme koje oduzima napajanje robota, servisiranje itd.

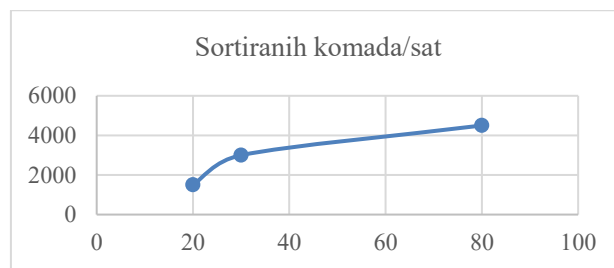


Slika 2. Prikaz simuliranog modela

Cilj formiranja ovakvog modela je da se izvrši objektivno vrednovanje pokazatelja posmatranih komisionih procesa, što treba da pomogne pri odlučivanju o nabavci i implementaciji nove opreme. Prikazani model je odredio broj robota dovoljnih za određene dnevne zahteve, kao i broj neophodnih pozicija za skeniranje da bi se ispoštovala brzina i vreme za koje mora da se realizuje komisioniranje.

8.3. Izlazni rezultati modela

Cilj simulacionog modela je da odredi potreban broj robota, prostor i troškove njihove upotrebe kako bi se izračunao period povrata investicije. Iako roboti nisu brži od ljudi, smanjuju vreme ispravljanja grešaka sa 25% na 0%, čime se povećava produktivnost. Roboti će preuzeti monotone zadatke poput sortiranja, dok će radnici biti oslobođeni teških fizičkih poslova i zaduženi za kompleksnije aktivnosti. Produktivnost ostaje ista, ali se poboljšava efikasnost zahvaljujući smanjenju grešaka, a radnici i roboti sarađuju u realnom vremenu. Uvođenjem robota se poboljšava i kvalitet rada radnika, dolazi i do opšteg zadovoljstva radnika što može da dovede do manje fluktuacije radnika. Radnici su mogli da rasporede oko 1700 komada robe na sat, dok će roboti sortirati do 3500 komada, s tim da će doći do potrebe za dodatnim preslaganjem robe u polutke. Potreban broj robota se može utvrditi na osnovu grafika na slici 3.



Slika 3. Odnos sortiranih komada sa brojem robota

Svaka automatizacija procesa zahteva određena finansijska ulaganja, ali isplativost se ne prati samo kroz povrat investicije, nego i kroz: unapređivanje procesa, smanjenje štete na robi, ubrzanje vremena provedenog u komisioniranju i pripremanju robe za dalji transport.

9. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U cilju unapređenja komisioniranja, simuliran je proces upotrebe autonomnih mobilnih robota za sortiranje, čime se olakšava rad skladišnih radnika i smanjuje potreba za kontrolom robe, brojem radnika, te rizik od povreda. Model simulira robote koji sortiraju robu prema kupcima, prateći produktivnost radnika i optimizujući proces. Ograničenja simulacije uključuju smanjenje broja entiteta i nasumičnu raspodelu naloga, ali predloženo rešenje nudi fleksibilnost u sortiranju. Glavni rezultati uključuju povećanje produktivnosti do 25%, 55 robota koji sortiraju 3500 komada robe na sat, ispunjenost 90% dnevnih potreba i zadržavanje istog broja zaposlenih. Očekuje se da će dalji razvoj samovozećih vozila unaprediti industrijske procese i smanjiti uticaj na životnu sredinu.

10. LITERATURA

- [1] Nikolić S. (2016): Osnovi logistike: principi, sistemi i procesi, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [2] [Automatizacija u skladištu: trendovi i izazovi u svetu brzine i efikasnosti | PC Press](#) (pristupljeno u julu 2024.)
- [3] <https://builtin.com/robotics> (pristupljeno u julu 2024.)
- [4] <https://hy-tek.com/resources/whats-the-difference-between-amr-and-agv/> (pristupljeno u maju 2024.)

Kratka biografija:



Tijana Vujinović rođena je u Novom Sadu 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport – Unapređenje komisioniranja upotrebom sortirnih robota odbranila je 2024.god. kontakt: tijanavujinovic000@gmail.com

**OMNIKANALSKI MALOPRODAJNI LANCI SNABDJEVANJA
OMNICHANNEL RETAIL SUPPLY CHAINS**

Rada Ristić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – LOGISTIKA, SAOBRAĆAJ I TRANSPORT

Kratak sadržaj – Na današnjem dinamičnom tržištu, gdje se očekivanja kupaca stalno mijenjaju, važno je da kompanije budu fleksibilne i prilagodljive. Tradicionalni modeli često su previše spori, dok savremeni modeli zahtijevaju agilost i okrenuti su ka kupcima. Omnikanalski lanci snabdjevanja omogućavaju maloprodajama da pruže veću fleksibilnost i iskustvo lake i brze sledljivosti pošiljke kupcima kroz različite kanale, kao što su online prodavnice, fizičke prodavnice i mobilne aplikacije. U ovom radu, kroz obradu strane stručne literature, pojašnjena je strategija omnikanalskih lanaca snabdjevanja, njen značaj, razvoj, kao i različiti primjeri dobrih praksi. Glavni cilj master rada je da se sa teorijskog stanovišta, detaljno ispita uticaj omnikanalskih lanaca snabdjevanja na efikasnost poslovanja i zadovoljstvo korisnika, da se identifikuju ključni faktori koji doprinose njihovoj uspješnoj implementaciji, što će na kraju dovesti do kreiranja jedne dobre teorijske osnove za dalja i više praktična istraživanja na ovu temu.

Ključne reči: Omnikanalska maloprodaja, lanac snabdjevanja, digitalizacija, integracija, korisničko iskustvo

Abstract – In today's dynamic market, where customer expectations are constantly changing, it is important for companies to be flexible and adaptable. Traditional models are often too slow, while modern models require agility and a customer-centric approach. Omni-channel supply chains enable retailers to offer greater flexibility and a seamless tracking experience for customers across various channels, such as online stores, physical stores, and mobile applications. This thesis, through the analysis of foreign expert literature, explains the strategy of omni-channel supply chains, their significance, development, as well as various examples of best practices. The main goal of the thesis is to thoroughly examine the impact of omni-channel supply chains on business efficiency and customer satisfaction from a theoretical perspective, to identify key factors that contribute to their successful implementation, which will ultimately lead to the creation of a solid theoretical foundation for further and more practical research on this topic.

Keywords: Omni-channel retail, supply chain, digitalization, integration, customer experience.

1. UVOD

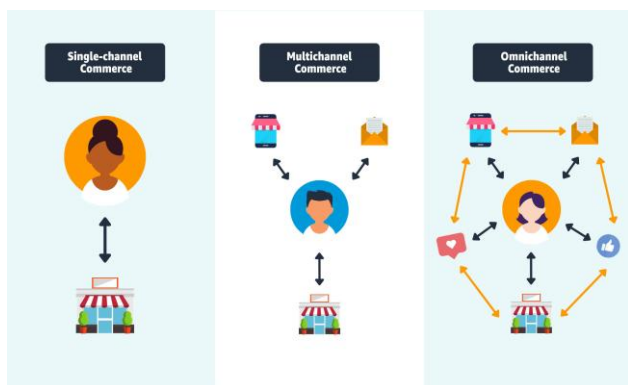
U današnjem poslovnom okruženju, uslijed sve veće konkurencije i promjene ponašanja potrošača, kompanije su primorane da prilagode svoje lance snabdjevanja kako bi bile što efikasnije i odgovorile na potrebe tržišta. Tradicionalni lanci snabdjevanja, koji su uglavnom funkcionisali kao jednosmjerni tokovi robe i informacija, postaju nedovoljni za zadovoljavanje savremenih zahtjeva. S pojavom digitalizacije, interneta i mobilnih tehnologija, dolazi do razvoja novih modela poslovanja, među kojima se ističe koncept omnikanalskih lanaca snabdjevanja. Omnikanalni lanci snabdjevanja predstavljaju integrisani pristup upravljanju kanalima distribucije, gdje se svi prodajni kanali: fizičke prodavnice, online prodavnice, mobilne aplikacije i drugi, međusobno povezuju i funkcionišu kao jedinstvena cjelina. Upravo je to i predmet istraživanja ovog master rada, koji daje svojevrsnu analizu omnikanalskih lanaca snabdjevanja, prednosti i izazova koji se javljaju u njegovoj implementaciji.

2. OMNIKANALSKA LOGISTIKA I DISTRIBUCIJA

Omnikanalska logistika je srž svakog uspješnog maloprodajnog lanca snabdjevanja u savremenom poslovanju. U osnovi, ona podrazumijeva koordinaciju različitih kanala prodaje kako bi se osigurala dosljedna i efikasna isporuka proizvoda krajnjim potrošačima. Tradicionalni modeli distribucije, koji su se oslanjali na fizičke prodavnice kao glavni prodajni kanal, više nisu dovoljni. Savremeni kupci zahtijevaju mogućnost naručivanja proizvoda online, pregledanje ponude putem mobilnih aplikacija i brz pristup informacijama o proizvodima putem različitih digitalnih platformi. Upravljanje omnikanalom se može definisati kao sinergetsko upravljanje brojnim dostupnim kanalima i kontaktnom tačkom korisnika, na takav način da se optimizuje korisničko iskustvo preko kanala (Slika 1.). Sinergijski pristup podrazumijeva da se kanalima i dodirnom tačkom upravlja kao cjelinom. Cijela jedinica dodirne tačke, fizička i online prodavnica grade interakciju i vezu između kanala i njihovo istovremeno korišćenje. Cilj je da se obezbijedi korisničko iskustvo koje se ne odnosi samo na jedan kanal, već i na brend kao dio cijelog koncepta [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marinko Maslarić, red. prof.



Slika 1. Omnikanalska prodaja u odnosu na višekanalnsku i jednokanalnsku [4]

Glavna razlika između ostalih modela višekanalnske prodaje i omnikanala jeste stepen koordinacije i integracije kanala. Integracija kanala se odnosi na stepen do kojeg različiti kanali međusobno komuniciraju. Integracija između svih kanala omogućava prodavcima da dijele imidž brenda, informacije i sveobuhvatno upravljanje. U ovom modelu kupci mogu započeti svoju kupovinu putem jednog kanala, kao što je mobilna aplikacija, nastaviti je na web stranici, a zatim dovršiti kupovinu u fizičkoj prodavnici

Omnikanalna logistika omogućava kompanijama da integrišu sve ove kanale i optimizuju proces distribucije. Na primjer, kompanije koje koriste omnikanalni pristup mogu koristiti distributivne centre za isporuku online narudžbi, dok istovremeno optimizuju skladištenje u fizičkim prodavnicama. Na taj način, potrošači mogu birati između dostave na kućnu adresu ili preuzimanja proizvoda u lokalnoj prodavnici, u zavisnosti od svojih preferencija. Ovaj model povećava fleksibilnost i smanjuje troškove isporuke, dok istovremeno poboljšava korisničko iskustvo.

Osim toga, omnikanalska logistika zahtijeva napredne tehnologije za praćenje zaliha u realnom vremenu, što omogućava kompanijama da brzo odgovore na promjene u potražnji i smanje rizik od prekomjernih ili nedovoljnih zaliha. Transparentnost zaliha omogućava kupcima da vide dostupnost proizvoda u svim prodajnim kanalima, što dodatno doprinosi njihovom zadovoljstvu. Ključni izazov u implementaciji omnikanalne logistike jeste koordinacija različitih operacija unutar lanca snabdjevanja, jer svaki kanal mora biti sinhronizovan sa ostalima kako bi se osiguralo besprekorno iskustvo [1].

3. EVOLUCIJA KONCEPTA OMNIKANALSKIH LANACA SNABDJEVANJA

Evolucija maloprodajnih lanaca snabdjevanja tokom posljednje decenije bila je značajno ubrzana tehnološkim napretkom i promjenama u potrošačkim navikama. Tradicionalni lanci snabdjevanja, zasnovani na jednokanalnim modelima prodaje, postali su neefikasni u savremenom poslovnom okruženju, gdje su digitalne platforme postale ključni dio poslovanja. Višekanalni modeli, koji su podrazumijevali upotrebu više kanala za prodaju, kao što su fizičke prodavnice i online prodavnice, nisu bili potpuno integrisani, što je otežavalo koordinaciju i praćenje zaliha. Omnikanalni lanci snabdjevanja

predstavljaju dalji razvoj ove ideje, jer omogućavaju potpunu integraciju svih prodajnih kanala u jedan jedinstveni sistem. Na ovaj način, prodavci mogu pratiti ponašanje kupaca u svim kanalima, optimizovati zalihe i isporučivati proizvode iz najbližih skladišta ili prodavnica, čime se skraćuje vrijeme isporuke i smanjuju troškovi. U trgovini postoje različiti kanali prodaje koji djeluju nezavisno u višekanalnskom i medjkanalnskom pristupu kako bi se promovisala prodaja. Međutim, u omnikanalnskom pristupu, svi kanali se koriste na sveobuhvatan način. Riječ "omni" označava da su svi kanali u fokusu i koriste se za proširenje prodaje. To omogućava kupcima da kupuju putem bilo kojeg kanala i pristupaju relevantnim informacijama jednostavno putem svih kanala. Informacije se dijele između kanala i vidljive su svim kanalima. Pandemija COVID-19 dodatno je ubrzala ovaj trend, jer su potrošači masovno prešli na online kupovinu, dok su kompanije morale brzo prilagoditi svoje lance snabdjevanja kako bi zadovoljile rastuću potražnju. Slika 2. prikazuje kako kompanija može pružiti besprekorno iskustvo svojim kupcima sinhronizacijom različitih tačaka prodaje, omogućavajući im da naruče proizvode sa bilo kojeg mjesta i da njihova narudžba bude ispunjena sa bilo kojeg mjesta [2].



Slika 2. Omnikanalni lanac snabdjevanja u maloprodaji [2]

Jedan od ključnih izazova u razvoju omnikanalnih lanaca snabdjevanja jeste upravljanje skladištenjem i distribucijom. Konsolidacioni centri postali su ključni elementi u smanjenju logističkih troškova, jer omogućavaju centralizaciju zaliha i distribuciju iz jednog mjesta prema različitim prodajnim lokacijama ili direktno kupcima. Na ovaj način se smanjuju troškovi transporta i skladištenja, dok se istovremeno povećava efikasnost isporuke. Korištenjem naprednih tehnologija za praćenje zaliha i narudžbi, maloprodajne kompanije mogu optimizovati svoje operacije i osigurati da su proizvodi uvijek dostupni na pravom mjestu u pravo vrijeme.

Pružanje omnikanalnskog iskustva kupcima predstavlja cilj mnogih trgovaca, ali ostvarenje istog nije lako. Iskustva ukazuju da trgovci ne postižu omnikanal u upravljanju lancem snabdjevanja odmah, već napreduju kroz tri faze.

Faza 1: U ovoj fazi, mnoge kompanije funkcionišu odvojeno. Online prodaja nema pristup zalihama u trgovinama, a trgovine ne učestvuju u online prodaji. Iako se koriste marketinške poruke za usklađivanje kanala, sinhronizacija nije jednostavna. Moguće je da kupci naruče online i preuzmu u trgovini ili izvrše povrat u

trgovini, što donosi određene zahtjeve za sistem upravljanja narudžbama i povratom.

Faza 2: U drugoj fazi, trgovci dijele zalihe i omogućavaju dostavu iz najbliže trgovine, što je složen korak ka omnikanalnom marketingu. Opcije uključuju kupovinu online s dostavom iz trgovine ili distribucijskog centra, kao i kupovinu u jednoj trgovini s dostavom iz druge.

Faza 3: Ova faza donosi univerzalnu vidljivost zaliha i integrisano korisničko iskustvo. Trgovci koriste podatke prikupljene iz svih kanala kako bi prilagodili marketinške strategije potrošačima. Ovaj pristup, iako zahtijeva više resursa, omogućava bržu i efikasniju dostavu te optimizaciju lanca snabdijevanja, dok se planiranje zaliha temelji na predviđanju potražnje. U fokusu su poboljšanje korisničkog iskustva i povećanje prihoda [2].

4. OMNIKANALSKA LOGISTIČKA STRATEGIJA

Logistička strategija u omnikanalnom okruženju mora biti prilagođena savremenim zahtjevima tržišta, koji podrazumijevaju brzu isporuku, dostupnost proizvoda kroz sve kanale i fleksibilnost u upravljanju narudžbama. Za razliku od tradicionalnih lanaca snabdijevanja, omnikanalni modeli zahtijevaju integrisano planiranje i koordinaciju između različitih prodajnih kanala, skladišta i distribucionih centara.

Jedan od ključnih aspekata omnikanalne logističke strategije jeste transparentnost zaliha. Kompanije koje uspješno implementiraju ovu strategiju omogućavaju kupcima da vide dostupnost proizvoda u realnom vremenu, bez obzira na to da li naručuju online ili kupuju u fizičkoj prodavnici. Ova transparentnost omogućava brzu reakciju na promjene u potražnji, smanjuje mogućnost grešaka u narudžbama i poboljšava ukupno korisničko iskustvo.

Pored transparentnosti zaliha, ključni element omnikanalne logističke strategije je povratna logistika. U savremenom maloprodajnom okruženju, kupci očekuju jednostavan i brz proces vraćanja proizvoda, bez obzira na to gdje su kupovinu obavili. Maloprodajne kompanije moraju obezbijediti fleksibilne opcije za povrat proizvoda, uključujući mogućnost vraćanja u fizičkim prodavnicama ili putem dostave. Povratna logistika ne samo da povećava zadovoljstvo korisnika, već i omogućava kompanijama da bolje upravljaju svojim zalihama i smanje operativne troškove [1].

5. OMNIKANALSKA DISTRIBUCIJA BUDUĆNOSTI

Budućnost omnikanalne distribucije biće obilježena sve većim oslanjanjem na digitalne tehnologije, automatizaciju i personalizaciju korisničkog iskustva. Maloprodajne kompanije će sve više koristiti robote u fizičkim prodavnicama kako bi optimizovale procese usluge kupaca, dok će virtuelni asistenti i avatari pružati korisnicima personalizovane preporuke u realnom vremenu. Ove tehnologije ne samo da unapređuju korisničko iskustvo, već i smanjuju troškove operacija i povećavaju efikasnost.

Mobilni marketing i digitalne kartice lojalnosti postaće ključni alati za povećanje lojalnosti kupaca. Kroz korištenje podataka o kupovinama i preferencijama korisnika, kompanije će moći kreirati personalizovane ponude i kampanje koje su prilagođene specifičnim potrebama svakog pojedinca. Ovo će omogućiti maloprodajnim kompanijama da bolje razumiju svoje kupce i kreiraju strategije koje direktno odgovaraju njihovim očekivanjima. Osim toga, automatizovana dopuna zaliha i pametne usluge igraće ključnu ulogu u optimizaciji lanaca snabdijevanja. Korištenjem naprednih softverskih rješenja za praćenje zaliha i predviđanje potražnje, kompanije će moći preciznije planirati svoje zalihe i smanjiti troškove skladištenja. Prilagođavanje proizvoda individualnim potrebama korisnika postaće standard u maloprodaji, jer će kupci očekivati personalizovano iskustvo prilikom svake kupovine.

Distribucija u omnikanalnoj maloprodaji budućnosti biće zasnovana na fleksibilnim i efikasnim distributivnim mrežama koje će omogućiti brzu i tačnu isporuku proizvoda, bez obzira na lokaciju kupca. Ključni principi definisanja ovih mreža uključuju transparentnost, brzinu isporuke, fleksibilnost i mogućnost praćenja pošiljki u realnom vremenu. Kompanije koje uspiju implementirati ove strategije imaće značajnu prednost na tržištu i moći će dugoročno zadržati lojalnost svojih kupaca [3].

6. ZAKLJUČAK

Omnikanalski pristup, koji je detaljno pojašnjen u ovom master radu, podrazumijeva integraciju svih prodajnih kanala, kako fizičkih, tako i digitalnih, u jedinstvenu strategiju koja omogućava kupcima besprijekorno iskustvo, bez obzira na kanal kroz koji kupuju. Ovaj pristup omogućava maloprodajnim kompanijama da pružaju dosljednu i koherentnu uslugu, omogućavajući potrošačima da pretražuju, naručuju i preuzimaju proizvode kroz različite kanale, od fizičkih prodavnica do online platformi i mobilnih aplikacija. Prednosti omnikanalskog pristupa uključuju poboljšanje korisničkog iskustva, povećanje lojalnosti kupaca i efikasnije upravljanje zalihama. Kupci cijene mogućnost da pretražuju proizvode i obavljaju kupovinu na način koji im najviše odgovara, bilo da je riječ o online kupovini s opcijom preuzimanja u prodavnici ili o jednostavnom vraćanju proizvoda kupljenih online u fizičku prodavnicu.

Međutim, implementacija omnikanalskog pristupa donosi i izazove. Koordinacija između različitih kanala zahtijeva složene logističke strukture i napredne tehnologije za praćenje inventara i ispunjenje narudžbi. Kompanije se suočavaju s potrebom za integracijom različitih sistema i podataka, kao i sa izazovima u pogledu održavanja dosljednog nivoa usluge kroz sve kanale. Takođe, prilagođavanje logističkih procesa za brzu isporuku i širi izbor proizvoda predstavlja dodatni izazov.

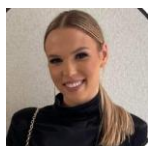
Gledajući u budućnost, omnikanalski pristup će se dalje razvijati kako tehnologija i očekivanja potrošača budu rasli. Ključni trendovi uključuju korištenje novih tehnologija za poboljšanje usluga, poput vještačke

inteligencije i automatizacije. Kompanije će koristiti podatke za bolje upravljanje zalihama i prilagođavanje ponude potrebama kupaca. Ključ uspjeha leži u sposobnosti kompanija da integrišu sve kanale i kontinuirano unapređuju svoje logističke procese, kako bi ostale konkurente ali prije svega zadovoljile i zahtjeve tržišta.

4. LITERATURA

- [1] Viitikko, O., „Omni-channel logistics in the Finnish retail market“, LUT University School of Business and Management, 2021.
- [2] Faisal M., Mehfooz Z., „How omni-channel supply chain management has evolved in retail business“, Volume 12, issue 6, 2021.
- [3] Pang Mei Yee, Matthias H., „Omni-channel logistic, A DHL perspective on implications and use cases for logistic industry“, DHL Customer Solutions & Innovation, 2015.
- [4] <https://sell.amazon.com.sg/blog/omnichannel>

Kratka biografija:



Rada Ristić rođena je u Bijeljini 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport - Logistika odbranila je 2024.god.
kontakt: risticradatls@gmail.com

PLANIRANJE POTREBA ZA MATERIJALIMA NA OSNOVU POTRAŽNJE DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

Dejana Milanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – LOGISTIKA, SAOBRAĆAJ I TRANSPORT

Kratak sadržaj – U master radu istražuje se planiranje potreba za materijalima na osnovu potražnje, sa ciljem optimizacije upravljanja resursima u nabavnim i proizvodnim procesima. Predmet istraživanja rada je analiza metoda koje omogućavaju efikasno upravljanje materijalima i smanjenje troškova i zaliha usljed varijacija u potražnji. Rad je fokusiran na tri pristupa planiranja materijala: Material Requirements Planning (MRP)– pruža osnovnu strukturu za planiranje potreba za materijalima, Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)– obezbeđuje bolju fleksibilnost i brzinu prilagođavanja promjenama u potražnji i Demand Driven Adaptive Enterprise (DDAE)– integriše ove metode na nivou preduzeća, omogućavajući strateško planiranje i unaprijeđenje efikasnosti. Cilj rada je definisati probleme koji nastaju u planiranju potreba za materijalima, analizirati funkcionalnosti i prednosti MRP sistema u planiranju materijala, analizirati doprinos DDMRP optimizaciji procesa planiranja i procijeniti uspjehnost uticaja DDAE metode na prilagodljivost i efikasnost organizacija u upravljanju materijalima. Rad doprinosi unaprijeđenju planiranja potreba za materijalima, smanjenju troškova i zaliha i poboljšanju konkurentnosti organizacija.

Ključne reči: Planiranje materijala, MRP, DDMRP, potražnja, lanci snabdevanja, materijalni tok

Abstract – The master's thesis investigates material requirements planning based on demand, aiming to optimize resource management in procurement and production processes. The subject of the research is the analysis of methods that enable effective material management and reduce costs and inventory due to variations in demand. The thesis focuses on three approaches to material planning: **Material Requirements Planning (MRP)**–provides a foundational structure for material requirements planning, **Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)**–offers better flexibility and responsiveness to changes in demand, and **Demand Driven Adaptive Enterprise (DDAE)**–integrates these methods at the enterprise level, allowing for strategic planning and improvements in efficiency. The goal of the thesis is to define the problems that arise in material requirements planning, analyze the functionalities and advantages of MRP systems in material planning, assess

the contribution of DDMRP to optimizing planning processes, and evaluate the effectiveness of the DDAE method on the adaptability and efficiency of organizations in material management. This work contributes to the improvement of material requirements planning, reduction of costs and inventory, and enhancement of organizational competitiveness.

Keywords: Material planning, MRP, DDMRP, demand, supply chain, material flow.

1. UVOD

U master radu analizira se planiranje potreba za materijalima, ključno za efikasno upravljanje proizvodnjom i lancem snabdevanja. Fokus je na analizi materijalnog toka i upotrebi različitih metoda, uključujući Material Requirements Planning (MRP), Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) i Demand Driven Adaptive Enterprise (DDAE). Metode planiranja su se razvijale u skladu sa sve složenijim izazovima u upravljanju resursima i varijacijama u potražnji. MRP je prvi omogućio precizno planiranje zasnovano na potrebama proizvodnje, dok su DDMRP i DDAE unaprijedili efikasnost i fleksibilnost. Analiza se oslanja na kvalitetnom istraživanju literature, uključujući naučne radove i studije slučaja iz prakse, a motivacija za pisanje proizašla je iz iskustva u kompaniji za proizvodnju hrane i napitaka. Cilj rada je identifikacija problema u planiranju materijala, analiza funkcionalnosti MRP sistema, doprinos DDMRP optimizaciji procesa i procjena uticaja DDAE na adaptivnost organizacija. Rad je strukturiran u pet poglavlja, od uvoda do zaključka, s ciljem da pruži sveobuhvatan pregled najznačajnijih metoda planiranja materijala i njihovih efekata na efikasnost organizacija.

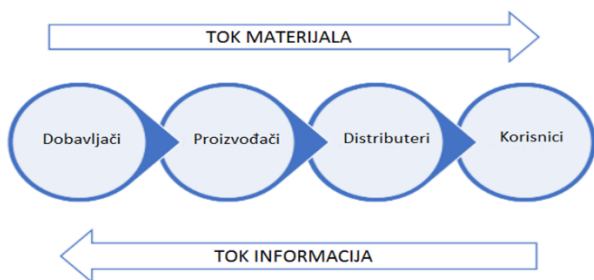
2. PLANIRANJE POTREBNOG MATERIJALA U LANCIMA SNABDEVANJA

Lanci snabdevanja su složeni sistemi koji obuhvataju sve aktivnosti povezane sa proizvodnjom i isporukom proizvoda, počevši od nabavke sirovina pa do dostave gotovih proizvoda krajnjim korisnicima. Ključni elementi ovih lanaca su materijalni, informacioni i novčani tokovi (prikazano na slici 2.1) [1]. Efikasno upravljanje ovim tokovima direktno utiče na ukupne troškove, brzinu isporuke i zadovoljstvo kupaca. Materijalni tok se posebno ističe kao ključna komponenta, jer brzina kretanja materijala u lancu snabdevanja može značajno uticati na nivoe zaliha i operativne troškove. Na primjer, problem poznat kao efekat biča pokazuje kako male promjene u

NAPOMENA:

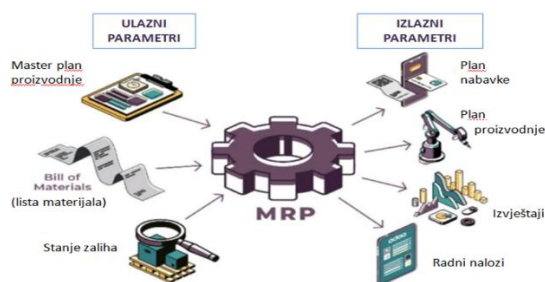
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marinko Maslarić, red. prof.

potražnji mogu izazvati velike fluktuacije u zalihama, što dovodi do neefikasnosti i dodatnih troškova preduzeću [2].



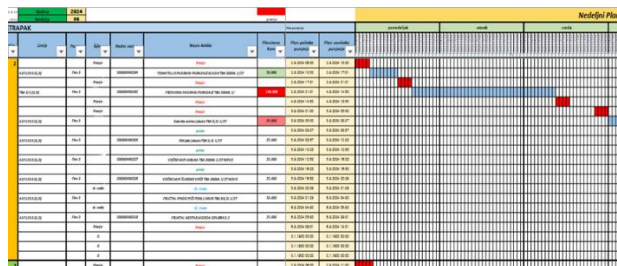
Slika 2.1. Tokovi duž lanca snabdjevanja [2]

Planiranje potreba za materijalima (MRP) je jedna od ključnih strategija koja osigurava pravovremenu nabavku potrebnih materijala. Postoje dvije vrste MRP sistema: MRP I i MRP II. Ovi sistemi omogućavaju detaljno planiranje kapaciteta, integraciju sa proizvodnim procesima i ostalim poslovnim funkcijama. Kalkulacijom, poređenjem i upotrebom MRP funkcija dobijaju se izlazni parametri na osnovu kojih se formira plan nabavke, plan proizvodnje i drugi brojni izvještaji [3]. Ulazni i izlazni parametri MRP prikazani su grafički na slici 2.2.



Slika 2.2. Ulazni i izlazni parametri MRP [3]

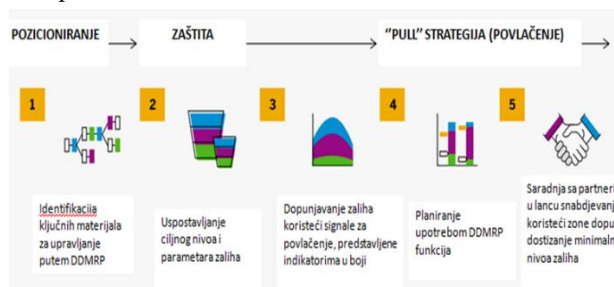
Alati poput Gantovih dijagrama omogućavaju vizualizaciju i praćenje napretka u proizvodnji, što olakšava identifikaciju i ispravljanje potencijalnih problema. Kao što se može vidjeti na slici 2.3. različitim bojama se mogu označiti procesi koji se obavljaju na linijama kako bi bili lako uočljivi na planu. Efikasno upravljanje lancem snabdjevanja postaje sve važnije u savremenom poslovnom okruženju, jer direktno utiče na konkurentnost preduzeća i sposobnost da odgovore na promjene na tržištu. Stoga, integracija svih ovih elemenata u jedinstvenu strategiju predstavlja ključ za uspješno poslovanje [4].



2.3. Gantov dijagram plana proizvodnje u proizvodnji hrane i napitaka [5]

3. PLANIRANJE POTREBA ZA MATERIJALIMA NA OSNOVU POTRAŽNJE

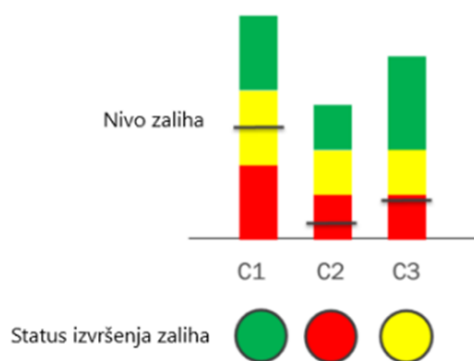
Analiza potražnje ključna je za planiranje potreba za materijalima, omogućavajući precizno predviđanje količina potrebnih za zadovoljenje potreba krajnjih korisnika, čime se optimizuju zalihe i resursi. Logističko planiranje zasnovano na konkretnim potrebama tržišta uključuje analizu prethodnih podataka o prodaji, trendovima i sezonskim varijacijama kako bi se predvidjela buduća potražnja [6]. Iako su predviđanja neprecizna, cilj je održati zalihe na optimalnom nivou uz minimalne troškove skladištenja. Tradicionalni MRP sistemi koriste prognoze i često dovode do viška ili nedostatka zaliha, dok DDMRP, kao inovacija, koristi stvarne podatke o potražnji za dinamičko prilagođavanje planova nabavke i proizvodnje. Na slici 3.1. prikazana je struktura DDMRP koncepta.



Slika 3.1. Struktura DDMRP koncepta [7]

Za razliku od MRP koncepta, kod kog su rokovi isporuke fiksni i koji ne daje prioritet različitim stavkama koje imaju isti rok isporuke, koncept DDMRP koristi odvojeni status izvršenja zaliha (proces upravljanja i praćenja zaliha tokom trajanja porudžbine). Ovaj proces se zasniva isključivo na trenutnim nivoima zaliha u odnosu na unaprijed definisanu crvenu zonu. Crvena zona predstavlja nivo zaliha ispod kog može doći do nedostatka i smatra se kritičnim. Iz tog razloga, DDMRP koristi crvenu zonu kao kriterijum za pravovremenu reakciju i prilagođavanje porudžbina. Na slici 3.2 su prikazane vrijednosti koje se koriste za kategorizaciju stanja zaliha u odnosu na crvenu zonu. Svaka boja označava određeni nivo kritičnosti zaliha [8].

- Zelena > Vrh crvene
- Žuta < Vrh crvene
- Crvena < 50% crvene



Slika 3.2. Kategorizacija stanja zaliha u odnosu na crvenu zonu [8]

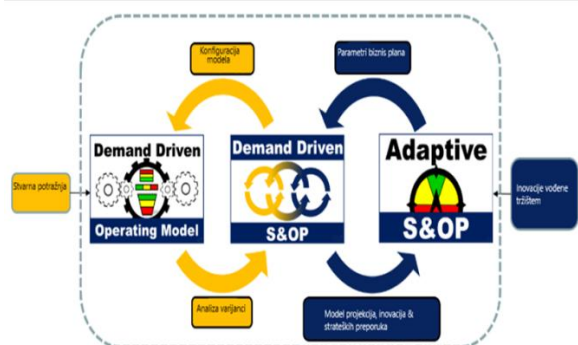
Za razliku od MRP koji koristi statičke prognoze, ovaj koncept koristi podatke o trenutnoj potražnji kako bi prilagodio planove nabavke i proizvodnje u realnom

vremenu. DDMRP smanjuje sigurnosne zalihe i reaguje na trenutnu potražnju, čime se optimizuje upravljanje zalihama i smanjuju rizici od nestašica. Ovaj pristup, koji se oslanja na strategiju "pull" umjesto "push", fokusira se na ključne artikle i osigurava bržu reakciju na promjene na tržištu [7]. U tabeli 3.1. prikazane su razlike između MRP i DDMRP koncepta.

Tabela 3.1. Razlike između MRP i DDMRP koncepta [7]

	MRP	DDMRP
Definicija	Ključni dio sistema planiranja materijala	Proširenje postojećeg MRP sistema koji omogućava bolje usklađivanje dopunjavanja zaliha sa stvarnom potražnjom
Osnovni faktor	Forecast (predviđanje buduće potražnje)/ Sales & Operations Planning (push strategija)	Stvama upotreba prema potražnji (pull strategija)
Vremenski okvir planiranja	Vođen predviđanjima buduće potražnje koje uključuju i nadmašuju kumulativno vrijeme isporuke	Direktno povezan sa stvarnim nivoom zaliha, upotrebom i unaprijed definisanim strategijama skladištenja na osnovu potražnje
Idealno okruženje	Stabilno sa predvidivom potražnjom	Nestabilno okruženje
Zavisnosti	Sales & Operations Planning, tačnost predviđanja buduće potražnje i stabilnost	MRP i vizuelni kontrolni sistem za dopunjavanje zaliha

DDAE model dodatno integriše DDMRP u poslovne strategije, omogućavajući organizacijama da se prilagode dinamičnim tržišnim uslovima i unaprijede konkurentnost. Struktura DDAE modela je prikazana na slici 3.3 [2].



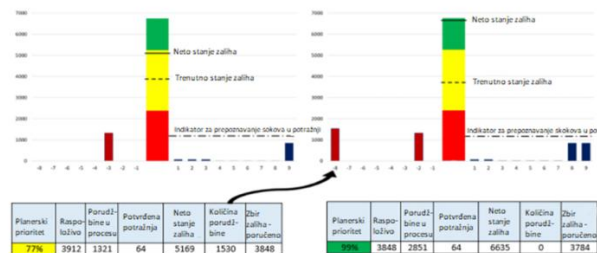
Slika 3.3. Struktura DDAE modela [2]

Svi ovi koncepti doprinose smanjenju operativnih troškova, poboljšanju nivoa usluge korisnicima i povećanju efikasnosti lanca snabdjevanja.

4. OBRADA STUDIJE SLUČAJA

Studija slučaja kompanije X, italijanske firme koja proizvodi pametne sisteme za upravljanje pristupom, analizira implementaciju DDMRP metodologije kroz pet osnovnih koraka. Kompanija, osnovana 1969. godine, suočavala se s izazovima varijabilnosti potražnje i dugim vremenima isporuke, što je uticalo na efikasnost njenog lanca snabdjevanja. DDMRP, koji se fokusira na pozicioniranje, zaštitu i povlačenje zaliha, omogućio je strateško pozicioniranje ključnih materijala, uspostavljanje optimalnih nivoa zaliha i dinamičko prilagođavanje na temelju prosječne dnevne potrošnje. Implementacijom ove metodologije, kompanija je smanjila vrijeme isporuke sa četiri na dvije nedjelje, optimizovala zalihe, a time i troškove, dok je poboljšala kvalitet usluge. Na slici 4.1.

prikazano je generisanje porudžbina primjenom DDMRP metodologije [2].



Slika 4.1. Generisanje porudžbina primjenom DDMRP metodologije [2]

Rezultati pokazuju značajne prednosti u planiranju, ali i potrebu za reorganizacijom internih procesa kako bi se osigurala dugoročna efikasnost. Prije nego što je započeta analiza, definisani su ciljevi koje kompanija želi postići implementacijom DDMRP metodologije [2]:

- Vrijeme isporuke je predstavljalo problem, ali primjenom DDMRP metode je smanjeno sa 4 na 2 nedjelje. Na ovaj način povećan je kvalitet usluge kupcima, ali i pružena mogućnost kompaniji da naplati višu cijenu zbog brže obrade porudžbine;
- Velika varijabilnost u potražnji je bila problem za kompaniju, međutim korišćenjem odvojenih zaliha (crvena, žuta i zelena zona) promjene se mogu smanjiti i kontrolisati;
- Optimizacija zaliha-zalihe mogu biti veće u određenim fazama, stoga se teži optimizaciji. Optimizacijom ukupna količina zaliha može biti manja, uklanjanjem nepotrebnih zaliha, te se na taj način oslobađa i prostor u skladištima.
- Uočena je i značajna ušteda u troškovima koji R6 artikla, pa se ukupni iznos ušteda može razlikovati ako se ova metoda planiranja primjeni i na ostale proizvode;
- DDMRP je mnogo jednostavniji i lakši za primjenu od MRP, jer jasno prikazuje različite prioritete planiranja koristeći boje i procenete.

Brojne su prednosti za sektor planiranja, kada je u pitanju implementacija DDMRP, ali te prednosti zahtijevaju i reorganizaciju pojedinih aktivnosti [2]:

- Prosječna dnevna potražnja se mora evaluirati na nedeljnom nivou u odnosu na mjesečnu evaluaciju koja se trenutno sprovodi.
- Nivo i veličina zaliha su dinamični i ne zavise samo od vremena isporuke, stoga je potrebno ažurirati redovno parametre za veličinu zaliha.
- Neto stanje zaliha se mora svakodnevno računati, a ne samo na nedeljnom nivou.
- Porudžbine će biti vršene automatski, sistem će diskontinuirano poručivati pojedinačne artikle.
- Informacije o novim dobavljačima (novi MOQ) se moraju redovno ažurirati.

Analizom implementacije DDMRP u kompaniji X, uočene su i određene kritičnosti: metodologija nije pogodna za sve zalihe (na primjer mesing, jer su vremenski rokovi predugi, a ugovore sa dobavljačima regulišu količine, a ne cijene, stoga se zbog niskih cijena kupuju veće količine),

neophodna je primjena na cijeli portfolio proizvoda kompanije i implementacija DDMRP će uticati na način rada i radne navike u kompaniji [2].

5. ZAKLJUČAK

Analiza planiranja potreba za materijalima, izvedena u radu, prikazuje ključne metode poput MRP, DDMRP i DDAE, koje organizacijama pomažu u optimizaciji nabavnih i proizvodnih procesa. MRP, kao precizan alat za planiranje zasnovan na potrebama, integriše podatke o proizvodnji i zalihama, ali se suočava s ograničenjima u fleksibilnosti. S druge strane, DDMRP unosi dinamiku u upravljanje zalihama, smanjujući ih i povećavajući efikasnost, dok DDAE omogućava širu prilagodljivost preduzeća na promjene tržišnih uslova. Uočeno je da savremene metodologije značajno poboljšavaju efikasnost organizacija, pri čemu uspjeh primjene zavisi od specifičnih potreba. Istraživanja u ovoj oblasti mogu se razvijati kroz integraciju novih tehnologija, prilagodljivost metodologija različitim industrijama, uticaj globalnih promjena, analitiku podataka i razvoj kadrova. Ova saznanja su relevantna za različite industrije i mogu poslužiti menadžerima, praktikantima, preduzećima u

razvoju, studentima i istraživačima u optimizaciji procesa i razvoju strategija za efikasnije upravljanje resursima

Kratka biografija:



Dejana Milanović rođena je u Bijeljini 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport – Logistika odbranila je 2024.god.
kontakt:
milanovicdejanatls@gmail.com

6. LITERATURA

- [1] Maslarić, M., "Pristup upravljanju lancima snabdevanja", Zadužbina Andrejević, Beograd, 2009.
- [2] Abith, Zachariah, G., "Demand Driven Materials Requirement Planning (DDMRP): A new method for production and planning management". Master's thesis, Politecnico di Milano, 2018.
- [3] Vihijärvi, S. "Implementing an MRP system in a procurement department: Case study: Cargotec Finland Oy". Bachelor's thesis, Tampere University of Applied Sciences, 2019.
- [4] <https://www.mrpeasy.com/blog/production-capacity-overview/>
- [5] <https://stock.adobe.com/images/mrp-vector-illustration-labeled-material-requirements-planning-system/252927948>
- [6] [Supply chain planning: What is it and how is it used? | SAP](#)
- [7] [DDMRP: The Solution for Dynamic Demand Planning | SAP](#)
- [8] [The five steps of DDMRP - what it does and how it helps \(ifs.com\)](#)

RAD NA VISINI I ANALIZA POVREDA NA RADU NASTALIH NA GRADILIŠTIMA U PERIODU OD 2013. DO 2017. GODINE**WORK AT HEIGHT AND ANALYSIS OF OCCUPATIONAL INJURIES OCCURRING ON CONSTRUCTION SITES IN THE PERIOD FROM 2013 TO 2017**

Jelena Milović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU

Kratak sadržaj – Rad na visini predstavlja jedan od najčešćih uzročnika povreda na radu u građarstvu. Kompleksnost same građevinske industrije za sobom generiše veliki broj različitih uzročnika povreda na radu. U ovom radu izvršena je analiza povreda na radu na gradilištima na osnovu baze podataka koja je formirana na osnovu prijave povreda na radu. Analizirano je ukupno 113. povreda na radu koje su nastale u periodu od 2013. do 2017. godine na gradilištima pri izgradnji objekata Visokogradnje na teritoriji Republike Srbije.

Ključne reči: Rad na visini, Povrede na radu, Građevinarstvo

Abstract – Working at height is one of the most common causes of work-related injuries in the construction industry. The complexity of the construction industry itself generates a large number of different causes of work injuries. In this paper, an analysis of injuries at work on construction sites was performed based on a database that was formed based on reports of injuries at work. A total of 113 work-related injuries that occurred in the period from 2013. to 2017. at construction sites for the construction of High-rise buildings in the territory of the Republic of Serbia were analyzed.

Keywords: Work at heights, injuries at work, construction

1. UVOD

Imajući u vidu da građevinska industrija predstavlja jednu od najznačajnijih grana industrije ujedno predstavlja i jednu od najrizičnijih delatnosti u pogledu povređivanja i ugrožavanja zdravlja radnika. Padovi sa visine jedan su od najčešćih uzroka smrtnih slučajeva radnog mesta [1]. Prema podacima Uprave za bezbednost i zdravlje na radu u Republici Srbiji na radnom mestu za 2020. godinu život je izgubilo jedanaestoro zaposlenih dok je 1226. zaposlenih doživelo tešku povredu na radnom mestu, za 2019. godinu dogodile su se 14. smrtnih povreda na radu, od toga 1233. povrede su bile teške povrede na radu.

2. RAD NA VISINI

Rad na visini predstavlja sve aktivnosti prilikom kojih postoji opasnost od pada lica sa visine veće od dva metra

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Mučenski, red. prof.

od podloge usled toga što radni prostor nije zaštićen od pada sa visine [2].

Svi objekti ili konstrukcije kod kojih je visina penjanja ili silaska radnika sa mesta rada pri građenju, pri pregledima, održavanju i opravkama u toku upotrebe veća od dva metra moraju da imaju bezbedan pristup od podloge do radnih etaža [2].

2.1. Opasnosti prilikom izvođenja radova na visini

Najčešće opasnosti koje se javljaju su:

- opasna kretanja prilikom izvođenja radnih operacija,
- tehničko - tehnološke opasnosti koje se javljaju usled neprilagođenosti rada odnosno radnog mesta zaposlenom,
- nepoštovanje procedura za rad (to se najčešće odnosi na brzinu u radu, nestručnost u radu, nepostojanje interne kontrole i dr),
- opasnost od opreme i sredstava za rad,
- klimatski faktori i mikroklimatski uslovi rada (vlažnost, visoke ili niske temperature prilikom rada na otvorenom, strujanje vazduha, prašina, vremenske nepogode i drugo),
- individualne karakteristike radnika [3].

2.2. Uzroci povreda na radu prilikom rada na visini

Do povreda na radu najčešće dolazi usled:

- nedostatka sredstava za sprovođenje preventivnih mera zaštite na radu,
- uštede na obezbeđivanju mera bezbednosti i zdravlja zaposlenih koji rade na visini,
- nepostojanje profesionalne orijentacije i selekcije za rad na visini,
- nedovoljnog i nepravilnog korišćenja opreme za bezbedan rad na visini,
- promene tehnologije u kratkom roku i nastanku sve veće opasnosti u tehnološkom procesu i drugo [3].

2.3. Opšte mere bezbednosti i zdravlja na radu prilikom izvođenja radova na visini

Za vreme radana visini neophodno je pridržavati se sledećeg:

- vezan zaštitnim opasačem,
- zakoračuje i oslanja se na novi oslonac tek kada proverí njegovu sigurnost,
- neopterećuje oslonac dodatnim novim opterećenjem (materijal ili alat),

- ne koristi sa drugim radnikom privremeni oslonac,
- alat ostavlja na dohvata ruke,
- ne saginje se do položaja labilne ravnoteže,
- prevezivanje prihvatnog konopca zaštitnog opasača sa jednog mesta na drugo obavlja u položaju u kome je čvrsto oslonjen na proverene i sigurne oslonce,
- prati pogledom montažni element i uklanja se sa njegove putanje,
- neotpočinjati rad u slučaju umora, dejstva alkohola, neispavanosti i dr [4].

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja ima za cilj da ukaže na značaj i sinergijski efekat kombinovanja kvantitativnih i kvalitativnih metoda istraživanja čijim kombinovanjem se dolazi do određenih rezultata. Istraživanje u ovom radu odnosi se na male, lake, teške i smrtno povrede na radu, koje su se dogodile prilikom izvođenja građevinskih radova, u periodu od 2013. do 2017. godine.

Cilj istraživanja odnosi se na prikaz analize stanja povreda na radu nastalih na gradilištima u Republici Srbiji u periodu od 2013. do 2017. godine. Obradeni su podaci sa akcentom na analizu broja smrtnih, teških, malih i lakih povreda na radu. Analizirani su faktori koji su direktno i / ili indirektno doveli do povreda na radu, a koji su sadržani u bazi podataka.

Podaci su analizirani, prikazani tabelarno i grafički i to prema sledećim kategorijama:

- težini povrede,
- starosnoj dobi radnika,
- mesecu u kome je nastala povreda,
- danu i satu kada je nastala povreda,
- prema vrsti preduzeća,
- prema Aktu o proceni rizika,
- vrsti radova koje je radnik obavljao,
- stručnoj osposobljenosti,
- osposobljenosti za bezbedan i zdrav rad,
- da li je u trenutku povrede zaposleni radio na radnom mestu sa povećanim rizikom,
- da li je zaposleni posedovao lekarsko uverenje,
- da li je zaposleni koristio lična zaštitna sredstva,
- da li koristio mehanizaciju, alat ili opremu,
- indirektni uzroci povređivanja,
- osnovni i suštinski uzroci povređivanja,
- način povređivanja i deo tela koji je povređen.

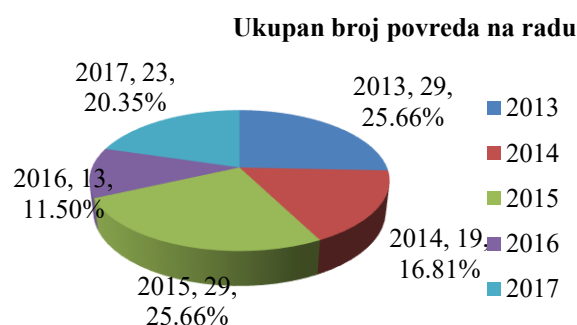
4. REZULTATI I DISKUSIJA

Problematika istraživanja bazira se na kompleksnosti same građevinske industrije. Pristupili su i problemi prilikom vođenja evidencija povreda na radu odnosno nepotpunih i / ili neadekvatno popunjenih obrazaca povreda na radu. Različite kategorije povreda na radu povezane su i dovedene u direkne ili indirektno veze. Usled nepostojanja nacionalnog registra povreda na radu podaci se razlikuju. Takođe, saradnja sa državnim organima i savetnicima / saradnicima za bezbednost i zdravlje na radu zahteva što bolju komunikaciju i saradnju

kako bi Izveštaj o povredi na radu bio obrađen i dostavljen svim zainteresovanim stranama. Uprava za bezbednost i zdravlje na radu kao državni i regulatorni organ ima važnu ulogu u pogledu uspostavljanja registra povreda na radu sa aspekta bezbednosti i zdravlja na radu.

4.1 Ukupan broj povreda na radu prema težini povrede

U radu je predstavljena analiza uzročnika smrtnih, teških, malih i lakih povreda na radu u Republici Srbiji, na osnovu 113 dostupnih Izveštaja o povredama na radu, u periodu od 2013. do 2017. godine uključujući i 2017. godinu. Na Grafiku 1 prikazan je ukupan broj povreda na radu u periodu od 2013. do 2017. godine.



Grafik broj 1. Ukupan broj povreda na radu

U Tabeli 1, prikazan je ukupan broj povreda na radu u odnosu na težinu povrede.

Tabela 1. Broj povreda na radu prema težini povrede

Težina povrede	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	Broj povreda
Smrtna povreda	1	1	3	1	2	8
Velika povreda	28	16	22	11	20	97
Mala povreda	8	1	-	-	-	1
Laka povreda	8	1	4	1	1	7
Ukupno:	29	19	29	13	23	113

4.2 Broj povreda na radu prema vrsti preduzeća

U Tabeli 2 prikazan je broj povreda na radu prema vrsti preduzeća u kome su nastale.

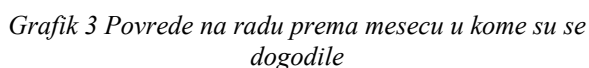
Tabela 2. Broj povreda prema vrsti preduzeća

Vrsta preduzeća	Broj povreda
Mikro	25
Mala	25
Srednja	35
Velika	22
Nepoznato	6

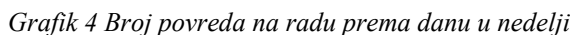
Na Grafiku 2 prikazane su povrede na radu prema starosnoj dobi za posmatrani period od 2013. do 2017. godine.



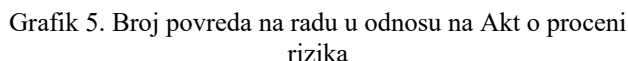
Na Grafiku 3 prikazane su povrede na radu prema mesecu u kome su se dogodile.



Na Grafiku 4 prikazane su povrede na radu prema danu u nedelji kada je povreda nastala.

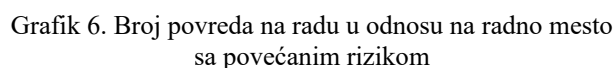


Na Grafiku 5 prikazane su povrede na radu u odnosu na postojanje Akta proceni rizika.

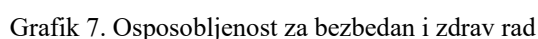


Rezultati pokazuju da je Akt o proceni rizika je imalo 68 (60,18%) preduzeća, 8 (7,08%) preduzeća nije imalo Akt o proceni rizika, a za 37 (32,74%) preduzeća je nepoznato da li su imali Akt o proceni rizika ili ne. Na osnovu analize zaključujemo da je većina preduzeća imala Akt o proceni rizika, međutim i pored postojanja akta desile su se 3 smrtna povrede i 59 velikih povreda.

Na Grafiku 6 prikazan je broj povreda na radu u odnosu na radno mesto sa povećanim rizikom.

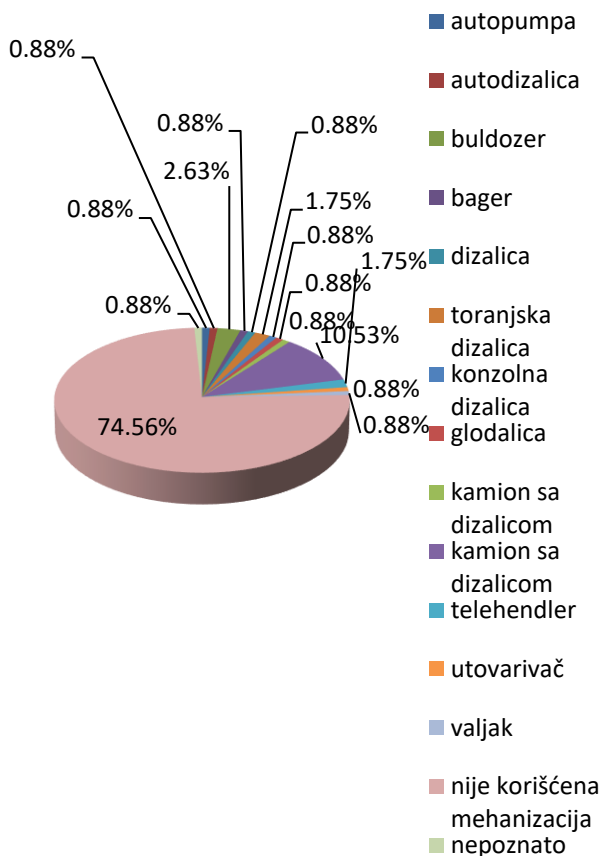


Na Grafiku 7. prikazan je broj povreda na radu u odnosu na osposobljenost za bezbedan i zdrav rad.



4.8 Povrede na radu u odnosu na korišćenje građevinske mehanizacije

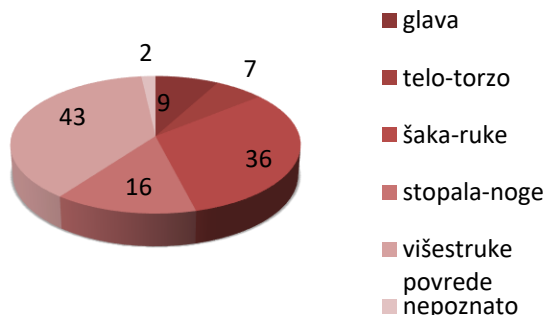
Na Grafiku 8 prikazan je % udeo upotrebe građevinske mehanizacije u odnosu na povrede na radu. Rezultati pokazuju da najveći broj povreda na radu izaziva kamion, buldozer, a zatim ostala mehanizacija.



Grafik 8 Broj povreda na radu u odnosu na građevinsku mehanizaciju

4.9 Broj povreda na radu u odnosu na deo tela koji je povređen

Na Grafiku 9. prikazan je broj povreda na radu u odnosu na deo tela koji je povređen.



Grafik 9. Ukupan broj povreda na radu u odnosu na deo tela koji je povređen

5. ZAKLJUČAK

Način dosadašnjeg vođenja evidencija ukazuje na veliki broj nedostataka prilikom podnošenja Izveštaja o povredi

na radu i saradnje sa drugim eksternim organizacijama koje imaju obavezu i odgovornost u proceduri prijave i obrade Izveštaja o povredi na radu. S toga, navedeno ukazuje na neophodnost uspostavljanja nacionalnog registra povreda na radu. Registar povreda na radu treba da omogući transparentnost unetih podataka u realnom vremenu, uvid u bazu podataka, lakše kategorisanje povreda na radu uz sagledavanje svih faktora i uzroka koji dovode do povrede. [1].

Analizom i obradom dobijenih podataka dolazimo do sledećeg zaključka

- najveći broj povreda na radu prema starosti dogodio se između 45 i 49 godina,
- najveći broj povreda na radu prijavljen je u avgustu,
- najveći broj povreda na radu u odnosu na dan jeste utorkom i sredom,
- najveći broj povreda na radu dogodio u srednjim preduzećima,
- najviše povreda na radu dogodilo se pri obavljanju tesarских radova,
- najveći broj povreda na radu dogodio se korišćenjem merdevina (lestvi),
- povrede na radu u odnosu na osnovne (suštinske) uzroke iznosi 22,12% rezultat je ličnih iskustvenih faktora,
- najveći broj povreda na radu 47,83% rezultat je pada na nivo ispod,
- na osnovu delova tela koji su povređeni višestruke povrede,

6. LITERATURA

- [1] Mučenski, V. (2018) Teorijske osnove bezbednosti i zdravlja na radu u građevinarstvu, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
- [2] Pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad pri korišćenju opreme za rad (Sl. glasnik RS, br. 23/09, 123/12, 102/15, 101/18, 130/21)
- [3] Pavlović Veselinović S.(2017) Bezbedan rad na visini – pravni, tehničko-tehnološki i ergonomski aspekti, 14. Međunarodna konferencija, Zaštita na radu, put uspešnog poslovanja, Divčibare
- [4] Pravilnik o zaštiti na radu pri izvođenju građevinskih radova (Sl. glasnik RS, br. 53/97, 14/09-др уредба).

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se Inspektoratu za rad, Ministarstva za rad, zapošljavanje, boračka i socijalna pitanja, Republike Srbije na bezrezervnoj pomoći pri realizaciji ovog istraživanja.

Kratka biografija:

Jelena Milović rođena je u Užicu 1994. godine. Osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu upisuje 2017./2018. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Inženjerstva zaštite na radu odbranila je 2020. godine. Master akademske studije upisuje na istom fakultetu 2020. godine, na smeru Inženjerstvo zaštite na radu.

kontakt: mail: jelenamilovicznr@gmail.com

**АНАЛИЗА УПРАВЉАЊА РАЗЛИЧИТИМ ТОКОВИМА МЕДИЦИНСКОГ ОТПАДА
У ОПШТОЈ БОЛНИЦИ "ЂОРЂЕ ЈОАНОВИЋ" – ЗРЕЊАНИН****ANALYSIS OF THE MANAGEMENT OF DIFFERENT FLOWS OF MEDICAL WASTE
IN THE HOSPITAL "ĐORĐE JOANOVIĆ" – ZRENJANIN**

Ивана Миливојевић, Бојан Батинић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

**Област – ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ
ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**

Кратак садржај – У оквиру рада је пружен увид у основне карактеристике и врсте медицинског отпада, као и начин његовог третирања и управљања у болници Ђорђе Јоановић у Зрењанину. Такође су приказани подаци о третману инфективног медицинског отпада (ТИМ) у аутоклавима у периоду од 2019. до 2023. године. Детаљно је описан процес од сакупљања и привременог складиштења до стерилизације у аутоклавима и коначног депоновања медицинског отпада.

Кључне речи: Медицински отпад, сакупљање, третман, депоновање, утицај на животну средину

Abstract – This paper provides insight into the basic characteristics and types of medical waste, as well as its treatment and management at Đorđe Joanović Hospital in Zrenjanin. The paper presents data on the treatment of infectious medical waste (TIM) in autoclaves from 2019 to 2023 and describes the detailed process from collection and temporary storage to sterilization in autoclaves and final disposal.

Keywords: Medical waste, collection, treatment, disposal, impact on the environment

1. УВОД

Здравствене установе су неопходне за заштиту и лечење здравља пацијената, као и за спасавање живота. Међутим, како би се остварили ови циљеви, неминовно се стварају значајне количине медицинског отпада. Овај отпад може бити опаснији од других врста отпада, при чему се процењује да око 20% укупног медицинског отпада спада у опасан отпад, који носи ризике од инфекција, повреда, траума, као и излагања хемијским супстанцама [1]. Неадекватно управљање медицинским отпадом може угрозити здравље запослених који рукују тим отпадом, пацијената, али и њихових породица. Осим тога, неадекватан третман и непрописно одлагање могу довести до озбиљног загађења животне средине. Здравствене установе су одговорне за правилно руковање отпадом и морају осигурати да третман и одлагање не угрожавају људско здравље или околину [2].

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Бојан Батинић, ванр. проф.

2. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И ПРАКСЕ**2.1. Врсте и карактеристике медицинског отпада**

Медицински отпад подразумева све врсте отпада настале у здравственим установама, током пружања здравствених услуга, као што су лечење, превенција и истраживања, као и у медицинским истраживачким центрима и лабораторијама. Медицински отпад обухвата мешавину комуналног, инфективног, радиоактивног, хемијског и фармацеутског отпада. У неким случајевима, може садржати људска или животињска ткива, крв, телесне течности, игле, завоје и друге медицинске материјале. Овај отпад потиче из разних медицинских, стоматолошких и ветеринарских установа [3].

Већина медицинског отпада је неопасна. Око 75% до 90% укупног отпада из здравствених установа сличан је комуналном отпаду, те се може третирати на исти начин. Међутим, 10% до 25% медицинског отпада спада у категорију опасног отпада, који због свог порекла, састава или концентрације опасних материја представља ризик за здравље људи и животну средину. Овај опасан отпад поседује најмање једну од опасних карактеристика, што захтева посебан третман [2].



График 1. Подела медицинског отпада на опасан и неопасан

3. ЗАКОНОДАВСТВО

3.1. Законодавство у Србији

Управљање медицинским отпадом у Србији регулисано је низом закона и прописа. Неки од главних прописа су:

Закон о управљању отпадом: Овај закон налаже да се отпад третира или одлаже што је могуће ближе месту његовог настанка, односно у региону где је створен, како би се избегле негативне последице по животну средину током транспорта. Произвођачи отпада који годишње стварају више од 100 тона неопасног отпада или више од 200 кг опасног отпада дужни су да израде план управљања отпадом, прибаве извештај о испитивању отпада, примењују хијерархију управљања отпадом и воде евиденцију о насталом отпаду [4].

Правилник о управљању медицинским отпадом: Овај правилник дефинише начин сакупљања и разврставања медицинског отпада на месту настанка. Отпад се пакује у одговарајућу амбалажу, у складу са његовим саставом, количином, транспортом и третманом. Опасан отпад се класификује према пореклу, саставу и карактеристикама које га чине опасним. Оштри предмети, попут игала, морају се сакупљати одвојено, а инфективни отпад се сакупља на начин који спречава директан контакт са особљем. Медицински отпад предаје се лицу које има дозволу за сакупљање и транспорт, а третман отпада врши произвођач самостално или преко оператера, уз одговарајуће дозволе [5].

4. РИЗИК И УТИЦАЈ НА ЗДРАВЉЕ ЉУДИ И ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Правилно управљање медицинским отпадом од кључног је значаја за заштиту здравља људи и очување животне средине. Кроз одговарајуће третмане, количине отпада и потенцијални ризици могу се свести на минимум. Особе које су у непосредном контакту с медицинским отпадом изложене су већем ризику. Најугроженије групе су лекари, медицинско особље, пацијенти, посетитељи здравствених установа, као и радници који транспортују и управљају отпадом. Шира јавност такође може бити угрожена уколико се отпад не третира на адекватан начин [1].



Слика 1. Излагање опасним супстанцама путем ланца исхране

4.1. Опасне карактеристике отпада

Медицински отпад може бити опасан због једне или више опасних карактеристика које поседује, а те карактеристике укључују: присуство инфективних агенаса, генотоксични или цитотоксични хемијски састав, присуство токсичних или опасних хемијских супстанци, или биолошки агресивних лекова, присуство радиоактивности и присуство коришћених оштрих предмета. Ове карактеристике захтевају посебну пажњу и третман како би се ризици смањили на најмању могућу меру [1].

5. АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКОГ ОТПАДА У БОЛНИЦИ У ЗРЕЊАНИНУ

Истраживање спроведено у Општој болници „Ђорђе Јоановић“ у Зрењанину обухвата анализу поступака и количина медицинског отпада који се генерише у периоду од 2019. до 2023. године. Резултати истраживања укључују упоређивање месечних и годишњих количина медицинског отпада третираних у аутоклавима, као и анализу циклуса и евентуалних инцидената у управљању отпадом.

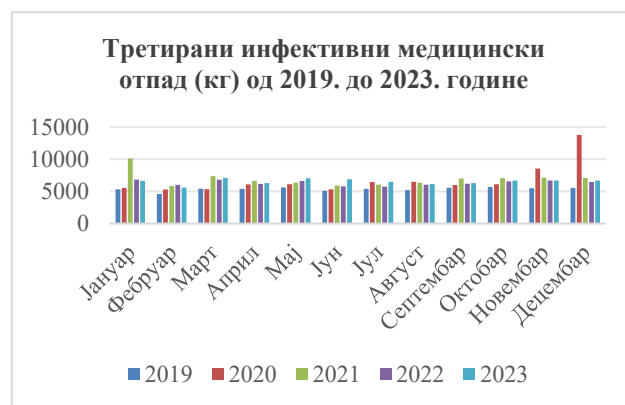


График 2. Приказ третираног инфективног медицинског отпада (кг) по месецима у годинама од 2019. до 2023.

2019. година: Количина инфективног медицинског отпада која је третирана била је релативно стабилна током целе године. Најнижа количина забележена је у фебруару 4596,9 кг, док је највиша била у октобру 5687,1 кг.

2020. година: Тренд из претходне године наставља се до првог тромесечја, када количина отпада почиње да расте. Од новембра и децембра долази до наглог повећања, што се може повезати са почетком пандемије ЦОВИД-19. У децембру количина отпада достигла је чак 13755 кг.

2021. година: Тренд високих количина отпада се наставља. У јануару је забележена највиша количина отпада од 10117,8 кг. Током године је дошло до смањења, али је укупна количина за целу годину била највиша, 82743,75 кг, од свих година, што указује да је пандемија и даље била у јеку.

2022. и 2023. година: У овим годинама количина отпада се смањила на просечну месечну количину од

око 6500 кг, али и даље је била већа у односу на 2019. годину, што указује на то да је пандемија оставила дугорочне последице.



График 3. Приказ броја циклуса по месецима у годинама од 2019. до 2023.

2019. година: У овој години број циклуса стерилизације је релативно једнак у свим месецима. Најнижи број циклуса био је у јулу од 152, док је највиши био у априлу од 195.

2020. година: Тренд ниског броја циклуса наставља се почетком године, али од јула долази до наглог скока броја циклуса на укупно 200. Највиши врх достиже се у новембру од 282 и у децембру од чак 362 циклуса. Ово је резултат почетка пандемије ЦОВИД-19 и повећања количине отпада, што доводи до чешћих стерилизација.

2021. година: Висок број циклуса наставља се и у овој години, што указује на то да је пандемија и даље у пуном јеку. Највећи број циклуса бележи се у јануару од чак 284.

2022. година: Број циклуса се смањивао у поређењу са 2021. годином која је бележила укупан број циклуса од 2443, али и даље је већи број него у 2019. години у којој је забележено 2082 циклуса.

2023. година: Долази до поновног повећања циклуса што може указивати на дугорочне последице пандемије и повећање количине отпада.



График 4. Приказ предатог патоанатомског отпада (кг) по годинама од 2019. до 2023.

Највећа количина патоанатомског отпада предата је у 2021. години од укупно 1535 кг, а најмања у 2020. години од свега 1280 кг.

5.1. Поступак и управљање генерисаним отпадом

Прикупљање и класификација отпада: Медицински отпад се прикупља на свим болничким одељењима и класификује према врсти: жуте кесе: инфективни медицински отпад, зелене кесе: пластика за рециклажу, црне кесе: комунални отпад, плаве кесе: отпадни папир и картон, црвене кесе: опасан отпад (фармацеутски и хемијски) и љубичасте кесе: цитотоксични отпад. Свако одељење има јасно обележене канте и кесе за правилно раздвајање отпада. Овај систем омогућава ефикасно и сигурно сакупљање отпада на месту његовог настанка.



Слика 2. Канте за сакупљање и класификацију отпада

Привремено складиштење: Прикупљени отпад се привремено складишти у обележеним и закључаним просторијама унутар болнице, које су означене одговарајућим натписима како би се спречила неовлашћена употреба и контаминација.

Транспорт отпада: Отпад се прикупља два пута дневно из свих одељења и транспортује до привременог складишта, а затим до постројења за стерилизацију. Процес транспорта се одвија под строгим контролама како би се минимизовао ризик од контаминације. Болница користи аутоклаве од 2008. године, што представља најјефтинији метод третмана инфективног отпада.

Стерилизација у аутоклаву: Аутоклавирање је метода којом се третира инфективни медицински отпад у болници. Процес аутоклавирања одвија се на температури од 121°C и притиску од 2,05 бара током 90 минута. Овај процес уништава све патогене микроорганизме попут вируса, бактерија и спора. Хемијски индикатор, који мења боју, користи се за потврду успешности стерилизације, а о овом процесу води се записник.



Слика 3. Аутоклави

Прање и дезинфекција канти: Након стерилизације, канте у којима се прикупљао инфективни отпад перу се и дезинфикују пре следеће употребе. На овај начин се осигурава њихова безбедност за наредни циклус.

Уситњавање отпада: Након стерилизације, отпад се уситњава и постаје неопасан. Уситњавање смањује запремину отпада и олакшава његово безбедно одлагање.

Депонија: Болница од 2005. године поседује властиту депонију која је закључана и водонепропусна. Уситњени и стерилисани отпад, заједно са рециклабилним материјалима, одлаже се на депонију болнице. Рециклажни материјали, попут папира, предају се овлашћеним операторима за даљу обраду.

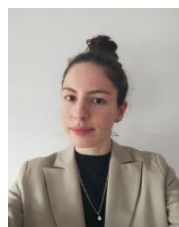
6. ЗАКЉУЧАК

Као што је приказано у раду, стварање медицинског отпада је неизбежно и од изузетног је значаја његово правилно руковање и третман како би се избегли негативни утицаји на животну средину и здравље људи. У општој болници Ђорђе Јоановић према генерисаном медицинском отпаду односи се са великом пажњом почев од самог разврставања на месту настанка, па преко привременог складиштења и на крају његовог третирања и депоновања. Такође, ради утврђивања успешне стерилизације у аутоклавима и осигуравања да стерилизација инфективног медицинског отпада не утиче штетно на животну средину, болница је дужна да врши испитивања отпадних вода, да једном недељно ради Бовие - Дицк тестирања на пару која продире и ефикасност уклањања ваздуха из аутоклава, као и да једном месечно ради биолошке контроле стерилизације што даје увид у то да је стерилизација била успешна.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yves Chartier, Jorge Emmanuel, Ute Pieper, Annette Prüss, Philip Rushbrook, Ruth Stringer, William Townend, Susan Wilburn i Raki Zghondi. 2014. „Safe Management of Wastes from Health - Care Activities (Second Edition).” World Health Organization.
- [2] International Committee of the Red Cross. 2011. „Medical Waste Management.”
- [3] Ministarstvo Zdravlja Republike Srbije. 2008. „Bezbedno Upravljanje Medicinskim Odpadom: Nacionalni Vodič za bezbedno upravljanje medicinskim osobljem.”
- [4] Sl. glasnik RS, br. 36/2009, 88/2010, 14/2016, 95/2018 - dr. zakon i 35/2023. „Zakon o Upravljanju Odpadom.”
- [5] Sl. glasnik RS, br. 48/2019. „Pravilnik o Upravljanju Medicinskim Odpadom.”

Кратка биографија:



Ивана Миловојевић рођена је 1996. године. Мастер студије из области инжењерства заштите животне средине, са фокусом на управљање отпадом, уписала је 2022. године на Факултету техничких наука у Новом Саду и успешно их завршила 2024. године.



Бојан Батинић (1981) је ванредни професор на Департману за инжењерство заштите животне средине у Новом Саду. Досадашњи научно-истраживачки рад оријентисан је на анализу физичко-хемијских карактеристика комуналног отпада, моделовање и пројекцију будућих карактеристика отпада, анализу система сакупљања и транспорта отпада, могућности искоришћења посебних токова отпада и сл. Стечена стручна знања имплементирао је кроз учествовање на преко 40 пројеката сарадње са привредом из области заштите животне средине и управљања отпадом. Резултате свог научно-истраживачког рада публиковао је кроз 17 радова у међународним часописима са СЦИ листе, као и преко 60 саопштења на скуповима међународног и националног значаја.

ПРОЦЈЕНА НИВОА ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА PM_{10} ЧЕСТИЦАМА У УРБАНОМ ПОДРУЧЈУ НОВОГ САДА**ASSESSMENT OF THE AIR POLLUTION LEVEL BY PM_{10} IN THE URBAN AREA OF NOVI SAD**

Рајко Марковић, Соња Дмитрашиновић, Јелена Радонић,

Област – ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Кратак садржај – У раду је приказана анализа дневног испитивања квалитета ваздуха на урбаном подручју града Новог Сада, коришћењем јавно доступних података са мреже која мјери квалитет ваздуха Климерко уређајима.

Кључне ријечи: квалитет ваздуха, PM_{10} честице, гранична вриједност

Abstract – The paper provides an analysis of daily air quality testing in the urban area of the city of Novi Sad, using publicly available data from the network that measures air quality with Klimerko devices.

Keywords: Air quality, PM_{10} , Limit value

1. УВОД

Загађење ваздуха је један од најзначајнијих еколошких изазова. Разумијевање карактеристика загађујућих материја (нпр. CO , NO_x , O_3 , SO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$) у урбаном подручју је од суштинског значаја за рјешавање изазова повезаних са лошим квалитетом ваздуха. За процјену степена загађења ваздуха важно је узети у обзир и метеоролошке параметре (нпр. температура, брзина и правац вјетра, релативна влажност, сунчево зрачење и падавине). Загађење ваздуха у урбаним подручјима са великим обимом саобраћаја се посебно односи на емисију NO_2 и честица пречника до $10 \mu m$ (PM_{10}).

Познавање дневних, недјељних и сезонских варијација у концентрацијама загађујућих материја може помоћи да се развије план за спровођење мониторинга квалитета ваздуха. У раду ће бити приказано загађење амбијенталног ваздуха PM_{10} честицама на дневном и годишњем нивоу у урбаном подручју града Новог Сада, на одабрана три локалитета.

2. ЗАХТЈЕВИ КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА

Заштита здравља људи је примарни разлог због кога је праћење квалитета ваздуха регулисано законодавством. У Европској унији, оквирни и

законски захтјеви за процјену и управљање квалитетом амбијенталног ваздуха описани су у Директиви о квалитету ваздуха [1] са дефинисаним референтним методама мјерења које државе чланице примењују приликом праћења квалитета ваздуха.

У складу са [2, 3] и другим прописима о квалитету ваздуха Републике Србије, захтјеви квалитета ваздуха су: граничне вриједности нивоа загађујућих материја у ваздуху, горње и доње границе оцјењивања нивоа загађујућих материја у ваздуху, границе толеранције и толерантне вриједности, концентрације опасне по здравље људи и концентрације о којима се извјештава јавност, критични нивои загађујућих материја у ваздуху, циљне вриједности и (национални) дугорочни циљеви загађујућих материја у ваздуху и рокови за постизање граничних и/или циљних вриједности, у случајевима када су оне прекорачене.

Услови за мониторинг квалитета ваздуха су: критеријуми за одређивање минималног броја мјерних мјеста и локација за узимање узорака у случају фиксних мјерења и у случају када су фиксна мјерења допуњена индикативним мјерењима или поступцима моделовања, методологија мјерења и оцјењивања квалитета ваздуха (референтне методе мјерења и критеријуми за оцјењивање концентрација), захтјеви у погледу података који се користе за оцјењивање квалитета ваздуха, начин обезбјеђења квалитета података за оцјењивање квалитета ваздуха (према захтјеву стандарда SRPS ISO/IEC 17025) и обим и садржај информација о оцјењивању квалитета ваздуха у складу са [3].

Праћење загађења ваздуха пружа корисне увиде у ниво загађујућих материја, њихове изворе и дистрибуцију, омогућавајући информисано доношење одлука и циљане интервенције, као и спровођење еколошких политика и прописа.

2.1. Горња и доња граница оцјењивања PM_{10} по дану

Горња граница оцјењивања просјечне 24-часовне концентрације PM_{10} представља 70% граничне вриједности ($35 \mu g/m^3$, не смије се прекорачити више од 35 пута у једној календарској години).

Доња граница оцјењивања просјечне 24-часовне концентрације PM_{10} представља 50% граничне вриједности ($25 \mu g/m^3$, не смије се прекорачити више од 35 пута у једној календарској години).

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је била др Јелена Радонић, ред. проф.

2.2. Гранична и толерантна вриједност PM_{10} по дану

Граничне и толерантне вриједности су основа за: оцјењивање квалитета ваздуха, подјелу зона и агломерација у категорије на основу нивоа загађења ваздуха и управљање квалитетом ваздуха.

Гранична вриједност PM_{10} за период усредњавања по једном дану износи $50 \mu g/m^3$ и не смије се прекорачити више од 35 пута у једној календарској години. Толерантна вриједност износи $75 \mu g/m^3$.

2.3. Индекс квалитета ваздуха

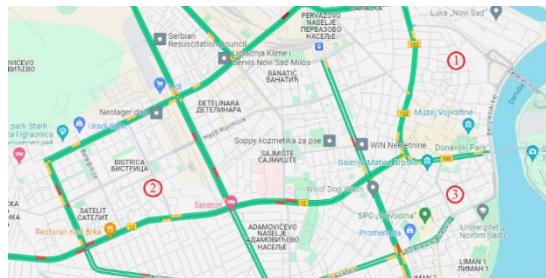
Квалитет ваздуха се описује помоћу индекса квалитета ваздуха (engl. *Air Quality Index* - AQI) и представља једну од битних оцјена квалитета живота у урбаним срединама. AQI додјељује мјере квалитета ваздуха по сату или дневно [4]. Референтне вриједности о квалитету ваздуха су, за потребе рада, преузете са мреже јавно доступних података [5]. Ове вриједности одговарају низу различитих категорија и нивоима савјета за заштиту здравља (нпр. одличан, добар, прихватљив, загађен, јако загађен и екстремно загађен). У складу са преузетим вриједностима, одличан квалитет ваздуха дефинисан је за вриједности $\leq 20 \mu g/m^3$, добар ($21 \mu g/m^3$ - $40 \mu g/m^3$), прихватљив ($41 \mu g/m^3$ - $50 \mu g/m^3$), загађен ($51 \mu g/m^3$ - $100 \mu g/m^3$), јако загађен ($101 \mu g/m^3$ - $150 \mu g/m^3$) и екстремно загађен за вриједности веће од $150 \mu g/m^3$.

Више различитих типова визуелизације може се користити за приказивање података о квалитету ваздуха, као што су графикони, дијаграми, календари, мапе и руже вјетрова [6]. Интеграција података о квалитету ваздуха са јефтиним сензорима (engl. *low-cost sensors* - LCS) помоћу *Internet of Things* (IoT) постала је прихватљив приступ развоју паметних градова. LCS за праћење квалитета ваздуха су економични преносиви уређаји малих димензија, комерцијално доступни, који могу међусобно комуницирати и размјењивати информације са становништвом, стварајући међусобно повезан и ефикасан систем.

Вријеме одзива је важно, јер LSC може брзо (висока временска резолуција) детектовати промјену концентрације загађујућих материја у ваздуху. Сензор који брзо реагује може бити користан за мобилно праћење и праћење веома брзих (нпр. од секунди до минута) промјена у концентрацијама загађујућих материја на фиксним локацијама (као што су близу путева са фреквентним саобраћајем) [7].

3. ЦИЉ И ПРЕДМЕТ РАДА

Циљ рада био је да се прикажу, дискутују и анализирају детектовани концентрациони нивои загађења на три урбане локације Новог Сада (приказане на Сlici 1), као и да се укаже на значај опсежних података о квалитету ваздуха, добијених примјеном LCS сензорске мреже. Поређење измјерених концентрација између самих локалитета извршено је у складу са прописаним критеријумима за оцјењивање концентрација PM_{10} у оквиру законске регулативе Републике Србије.



Слика 1. Локације узорковања PM_{10}

За процјену нивоа загађења PM_{10} коришћени су јавно доступни подаци из 2023. године, са мреже која мјери квалитет ваздуха Климерко уређајима (Слика 2).



Слика 2. Уређај Климерко [5]

Измјерене 24-часовне вриједности (на три локације у урбаном подручју Новог Сада) упоређивани су са прописаном законском регулативом, у контексту колико пута су вриједности PM_{10} прекорачиле или нијесу прекорачиле дефинисану дневну вриједност (од $50 \mu g/m^3$) током 2023. године.

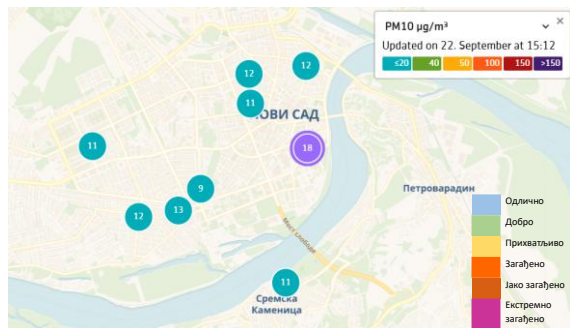
У највећем броју случајева, нивои концентрација PM_{10} честица мјерени са LCS уређајима показују повишене вриједности у случају мање брзине вјетра, тамо гдје је обим саобраћаја већи (нпр. главни путеви) и у данима када је обим саобраћаја већи. Иако је фреквенција саобраћаја, најчешће, мања недељом, сензори очитавују сличне вриједности као и осталим данима. Резултати показују нешто ниже вриједности концентрације PM_{10} у дијелу блокова стамбених објеката, док вриједности из стамбених улица недељом показују већу хомогеност [8].

Разумијевање како временски услови могу утицати на концентрацију загађујућих материја и њихово мјерење, важно је за прикупљање тачних информација и тумачење трендова у подацима. Нпр. влага у атмосфери и облацима утиче на хемијске реакције неких загађујућих материја. Сунчева свјетлост индукује одређене хемијске реакције, што доводи до појаве сложених загађујућих материја или смјеша попут озона и фотохемијског смога. Вјетар преноси и распршује загађујуће материје, а топлији ваздух може убрзати хемијске реакције у атмосфери.

Саобраћај високог интензитета врши притисак на систем градског транспорта и доводи до повећаног утицаја на животну средину. Гужва у саобраћају обично доводи до повећања потрошње горива и емисија штетних материја у амбијентални ваздух.

Мрежа LCS за праћење концентрација загађујућих материја заснована је на интернет облаку и даје мјерења високе просторне резолуције у реалном времену. Из таквих скупова података се праве карте и визуелизације да би се приказао временски и просторно диференциран развој загађења ваздуха.

Визуелизација сензорских података у оквиру платформе треба да има за циљ да омогући корисницима да погледају податке на начин који задовољава њихове потребе. Боје помажу да се визуелизују разлике између локација. Ови захтјеви се могу представити на платформи која представља стварне податке у вриједностима, бојама и описној квалификацији као што се види на слици 3.



Слика 3. Примјер оцјене квалитета ваздуха са индексом [5]

Свјетска здравствена организација препоручује постављање једне станице за праћење квалитета ваздуха по квадратном километру, док директива ЕУ о

чистом ваздуху предлаже једну станицу на отприлике 200.000 становника [9].

3.1. Анализа прекорачења дневне граничне вриједности PM_{10}

Након спроведене анализе података о дневним нивоима концентрације PM_{10} честица на три локације у урбаном подручју Новог Сада, уочено је да је гранична вриједност прекорачена више од 35 пута у току 2023. године, односно да су дневне концентрације биле прекорачене 101 дан. У односу на све три локације, највише прекорачења граничне вриједности PM_{10} забиљежено је у децембру (33 дана), јануару (21 дана) и фебруару (19 дана), док прекорачења граничне вриједности PM_{10} нијесу забиљежена у мају и септембру. Детаљан приказ је дат на Графику 1.

Такође, утврђена изложеност честицама PM_{10} изнад прописане забиљежена је на локацији L1 – 64 дана, на локацији L2 – 22 дана, а на локацији L3 – 15 дана, што у процентима представља прекорачење граничне дневне вриједности концентрације PM_{10} , на локацији L1 – 18%, на локацији L2 – 6%, а на локацији L3 – 4% у односу на цијелу 2023. годину.

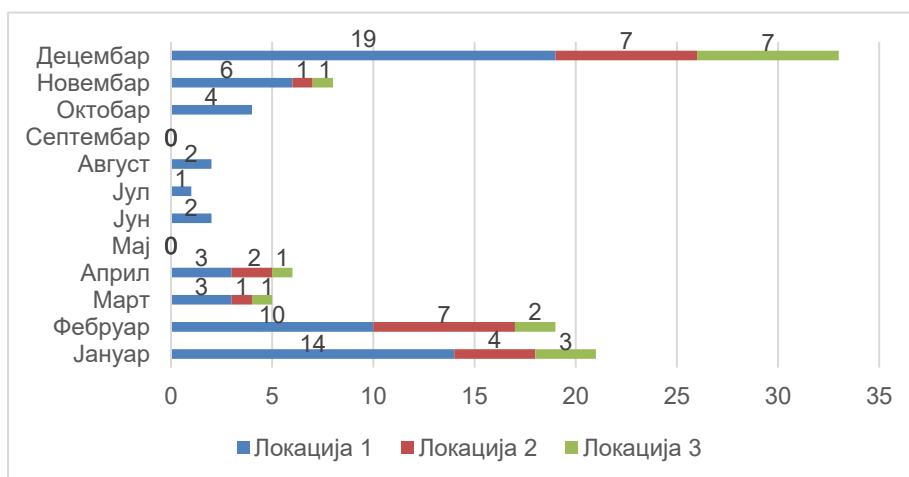


График 1. Број дана изложености концентрацији PM_{10} изнад дозвољене границе по мјесецима у 2023. години

3.2. Поређење концентрације PM_{10} током годишњих доба

На основу извршене анализе такође је уочено да је током зимских дана у 2023. години било највише прекорачења граничне вриједности концентрације PM_{10} и то 34 дана на локацији L1, 14 дана на локацији L2 и 7 дана на локацији L3 (График 2). Најмање прекорачења граничне вриједности концентрације PM_{10} забиљежено је у току љетњих дана, када на локацијама L2 и L3 није евидентирано прекорачење, док на локацији L1 износи 5 дана.

Одређени извори емисије PM_{10} честица су исти током цијеле године (нпр. индустрија, емисије из саобраћаја). Љети топао ваздух има тенденцију кретања на горе, тако да се загађујуће материје у ваздуху јављају у вишим слојевима атмосфере. Зими

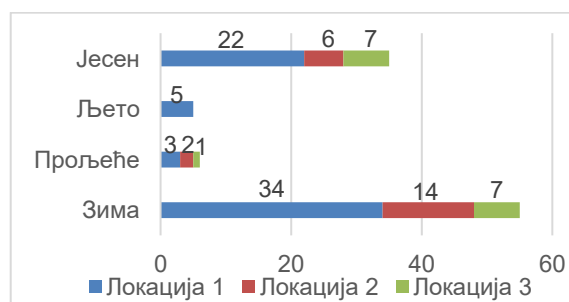


График 2. Број дана изложености концентрацији PM_{10} изнад дозвољене границе по годишњим добима

долази до појаве температуре инверзије, тако да појас топлог ваздуха онемогућава кретање појасу хладнијег ваздуха ка горе, тако да се загађење ваздуха у нижим слојевима само акумулира и тада се региструју екстремне вриједности. Такође је евидентно да су зими веће емисије честица због индивидуалног загријавања домаћинства у одређеним дјеловима града.

4. ЗАКЉУЧАК

Важност праћења загађења ваздуха представља темељ за ефикасно вођење политике заштите животне средине, заштиту јавног здравља и очување животне средине.

Квалитет ваздуха се генерално погоршава са порастом урбанизације, а процјене сугеришу да 96% свјетске популације живи у областима гдје загађење ваздуха прелази безбједне границе [8].

Спровођење комплексних истраживања, мониторинг ваздуха и дефинисање максимално дозвољених концентрација штетних супстанци у ваздуху је веома важно у циљу подизања свијести јавности о потреби заштите животне средине, како би се одабрала најбоља рјешења са становишта одрживости квалитета ваздуха и смањења ризика, директних и индиректних, по животну средину и здравље људи. Истраживања везана за мониторинг квалитета ваздуха у урбаним подручјима морају бити усмјерена ка обезбјеђивању довољног броја података и информација везаних за постојање и минимизовање потенцијалних негативних ефеката загађујућих супстанци у ваздуху.

Анализа прикупљених података о загађењу ваздуха PM_{10} честицама у урбаном подручју Новог Сада показује да је загађење прекорачило граничну вриједност од $50 \mu g/m^3$ на локацији L1: 64 дана у календарској години, што се може сматрати великим прекорачењем у односу на дозвољених 35 дана, док су на локацијама L2 (22 дана) и L3 (15 дана) прекорачења испод 35 дозвољених дана. Толерантне вриједности су прекорачене на L1: 20 дана, L2: 3 дана и L3: 4 дана.

Такође, анализом података долази се и до оцјене квалитета ваздуха за календарску 2023. годину, и то:

- На локацији L1 грађани су удисали ваздух одличног квалитета 87 дана, доброг квалитета 140 дана, прихватљивог квалитета 26 дана, загађен 57 дана, јако загађен 3 дана и екстремно загађен 3 дана;

- На локацији L2 ваздух је био одличног квалитета 275 дана, доброг квалитета 59 дана а прихватљивог квалитета 8 дана и загађен 22 дана;

- На локацији L3 ваздух је био одличног квалитета 261 дан, доброг квалитета 74 дана, прихватљивог квалитета 15 дана и загађен 15 дана.

Главни приоритети приликом одређивања мјера за смањење емисија и побољшања квалитета ваздуха треба да буду:

- Спровођење мјера у секторима који највише доприносе укупним емисијама на националном нивоу, односно онима од којих се очекује највеће смањење емисија у наредном периоду;

- Успостављање снажније синергије приликом планирања политика и мјера за смањење емисија загађујућих материја и побољшање квалитета ваздуха са политикама и мјерама за смањење емисија са ефектом стаклене баште, раст удјела обновљивих извора енергије и повећање енергетске ефикасности.

Свијест јавности и ангажовање шире заједнице имају кључни значај у рјешавању питања загађења ваздуха. Чинећи податке о квалитету ваздуха јавно доступним, појединци могу доносити исправне одлуке како би

заштитили своје здравље и учествовали у напорима за побољшање квалитета ваздуха.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Директива о квалитету ваздуха (engl. *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe*)
- [2] Уредба о условима за мониторинг и захтјевима квалитета ваздуха „Сл. Гласник РС“, бр. 11/2010, 75/2010 и 63/2013)
- [3] Закон о заштити ваздуха („Сл. Гласник РС“, бр. 36/2009, 10/2013 и 26/2021)
- [4] Apte S. J., Ph.D. (2020). State of Play of Low-Cost Sensors for Monitoring $PM_{2.5}$. Department of Civil and Environmental Engineering and School of Public Health University of California, Berkeley Berkeley, CA 94720 USA.
- [5] www.klimerko.org
- [6] Clements A., Duvall R., Greene D., Dye T. (2022). *The Enhanced Air Sensor Guidebook*. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-22/213.
- [7] Williams R., Kilaru V., Snyder E., Kaufman A., Dye T., Rutter A., Russell A., Hafner H. (2014). Air Sensor Guidebook. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/159
- [8] Celikkaya N., Fullerton M., Fullerton B. (2019). Use of Low-Cost Air Quality Monitoring Devices for Assessment of Road Transport Related Emissions. *Transportation Research Procedia* 41: 762-781.
- [9] Concas F., Mineraud J., Lagerspetz E., Varjonen S., Liu X., Puolamäki K., Nurmi P., Tarkoma S. (2021). *Low-cost outdoor air quality monitoring and sensor calibration: A survey and critical analysis*.

Кратка биографија:



Рајко Марковић рођен је у Бару, Црна Гора, 1991. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Инжењерства заштите животне средине одбранио је 2024. год.

контакт: rajko.markovic@hotmail.com



Соња Дмитрашиновић рођена је у Госпићу, Хрватска, 1990. год. Запослена је на Факултету техничких наука у звању истраживач сарадник.

контакт: dmitrasinovic@uns.ac.rs



Проф. др. Јелена Радонић је редовни професор на Факултету техничких наука, из области инжењерства заштите животне средине.

контакт: jelenaradonic@uns.ac.rs

ПРОЦЕНА ПОЖАРНОГ РИЗИКА ВИСОКОГ СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА У НОВОМ САДУ**THE FIRE RISK ASSESSMENT OF A HIGH RESIDENTIAL BUILDING IN NOVI SAD**Милан Петковић, *Факултет Техничких Наука, Нови Сад***Област – Инжењерство заштите на раду**

Кратак садржај – У оквиру рада се анализира пожарни ризик стамбеног објекта како би се утврдио ниво пожарне сигурности и имплементирала унапређења. Истраживање се састоји из два дела – први део обухвата визуелну анализу и преглед стања објекта, као и свих фактора који могу позитивно или негативно утицати на развој пожара. Други део подразумева анкетирање станара зграде на тему пожарне сигурности. Резултати ће указати на ниво пожарне безбедности у згради и у којој мери су станари упознати са основама пожарне сигурности. На основу процењеног пожарног ризика објекта дат је предлог мера које се могу применити ради повећања пожарне сигурности, а које не захтевају значајне измене.

Кључне речи: пожар, безбедност, стамбени објекат, пожарни ризик

Abstract – The paper analyzes the fire risk of a residential building to determine the level of fire safety and implement improvements. The research consists of two parts – the first part includes a visual analysis and inspection of the building's condition, as well as all factors that may positively or negatively affect fire development. The second part involves surveying the building's residents on the topic of fire safety. The results will indicate the level of fire safety in the building and to what extent the residents are familiar with basic fire safety principles. Based on the assessed fire risk of the building, a set of proposed measures has been provided that can be implemented to enhance the fire safety of the building, without requiring significant changes.

Keywords: fire, safety, residential building, fire risk

1. УВОД

Пожари представљају свакодневну појаву у свету и велика су опасност за живи свет, природу и материјална добра. Пожари могу настати као последица природног дејства, али у највећем броју случајева настају као последица човекове грешке. Управо у томе се огледа важност ове теме и значај адекватне едукације о пожарној заштити. У овом раду ће кроз студију случаја и истраживачки рад бити

приказано који све фактори могу утицати на развој и настанак пожара, на који начин се може обезбедити заштита од пожара, а такође ће на основу извршене анкете бити приказано колико су људи заиста упознати са овом темом. Ризици од пожара су често „невидљиви“ и занемарују се све док не буде прекасно због чега је неопходно развити систем који обухвата различите аспекте – од грађевинских материјала, преко техничких решења за заштиту па све до едукације људи о правилном поступању у случају пожара. Као најважнију ствар је потребно истаћи едукацију људи и превенцију настајања пожара. Неопходно је подићи ниво свести код људи, едуковати их како да препознају потенцијалне опасности, како да реагују у случају пожара и како да користе уређаје за гашење пожара јер су то ствари које су основне и неопходне за адекватно поступање у случају кризне ситуације. Поред едукације људи веома је важна превенција пожара која се између осталог постиже и проценом пожарног ризика на основу ког се идентификују слабе тачке и места на којима се може унапредити заштита од пожара и смањити могућност његовог настанка

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Пожар представља комплекс физичко хемијских појава чији је основ процес нестационарног сагоревања које се одвија у времену и простору [1], а према закону републике Србије се дефинише као процес неконтролисаног сагоревања којим се угрожавају живот и здравље људи, материјална добра и животна средина [2]. Постоје три основна елемента која су неопходна за одржавање ватре и то су: горива материја, извор топлоте и кисеоник који заједно чине такозвани ватрени троугао [3]. Као резултат сваког пожара јављају се чврсти, течни и гасовити продукти сагоревања, ослобађа се топлота као и светлосни ефекат [1]. Због пожара сваке године у Европи у просеку 8 особа од милион изгуби живот, док већи број буде хоспитализован [4]. Могућност и вероватноћа настанка пожара зависе од бројних фактора који се карактеришту одређеним параметрима које је неопходно сагледати како би се формулисао ниво поузданости превентивне заштите од пожара [1]. Ипак, важно је истаћи да у 80% свих пожара човек директно или индиректно учествује као узрочник својим незнањем, немаром, грешкама у раду и неправилним поступањем при настанку пожара. Овај податак указује да фокус треба усмерити на едукацију људи [4].

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из завршног рада чији ментор је био др Немања Сремчев, ванр. проф.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање које је вршено у оквиру рада састоји се из два дела. Први део обухвата студију случаја која подразумева визуелну анализу објекта, преглед стања објекта, анализу локације и свих фактора који могу негативно или позитивно утицати на потенцијални пожар. На основу тих података је потом извршена процена пожарног оптерећења објекта, а затим употребом еуроаларм методе и процена пожарног ризика објекта. Анализирани објекат се налази у улици Балзакова 64, у Новом Саду. Реч је о кули од 16 спратова у којој се налази укупно 92 стана, а у којима живи око 240 људи. Анализа је вршена у периоду од априла до септембра 2024. године. Други део истраживања је подразумевао анкетирање становника кроз давање одговора писаним путем на кратка питања из анализирани области. Анкетирање је вршено у периоду од друге недеље септембра па до краја месеца, а анкета је попуњена за 43 стана, односно 46,7 процената од укупног броја станова.

Анкетирање станара је вршено у оквиру упитника који се састојао из следећих питања:

- Да ли сте икада учествовали у вежби евакуације? (Да/Не)
- Да ли знате где се налазе противпожарни апарати у згради? (Да/Не)
- Да ли постоје препреке на степеништу и пролазима које би отежале евакуацију? (Да/Не)
- Да ли бисте били заинтересовани за едукацију о пожарној сигурности уколико би управа зграде организовала? (Да/Не)
- Да ли поседујете противпожарни апарат у стану? (Да/Не)
- Да ли знате куда бисте се требало евакуисати у случају пожара? (Да/Не)
- Оцените безбедност ваше зграде у случају евентуалног пожара од 1-5?
- Прва реакција у случају пожара? (кренути са евакуацијом/позвати ватрогасце/приступити гашењу пожара)

4. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

У оквиру студије случаја која је спроведена анализирани су сви фактори који могу имати позитиван или негативан утицај на развој пожара. Они укључују микролокацију и макролокацију, прилазне саобраћајнице, конструкцију објекта и конструктивне материјале који су коришћени, комуникације, водоснабдевање, енергетске системе и системе вентилације и климатизације. Поред наведених елемената анализирају се и примењене мере заштите од пожара као једна од најважнијих ставки, како би се могло упоредити да ли објекат (слика 1) поседује све неопходне мере заштите од пожара. Анализом свих наведених фактора добијају се значајне информације које омогућавају процену пожарног оптерећења и предлагање адекватних мера.



Слика 1 Анализирани објекат у новом саду

5. ПРОРАЧУН ПОЖАРНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА

Након прорачуна пожарног оптерећења за сваку просторију у стану, врши се прорачун укупног пожарног оптерећења целог стана. У табели 1 су приказани резултати укупног пожарног оптерећења анализираниг стана и они су изражени у две колоне – прва приказује пожарно оптерећење за сваку просторију појединачно, а потом и укупно пожарно оптерећење стана, а друга показује пожарно оптерећење за сваку просторију изражено по метру квадратном, а потом и укупно пожарно оптерећење целог стана изражено по метру квадратном.

Табела 1 Укупно пожарно оптерећење стана

Укупно пожарно оптерећење стана		
Врста просторије	Укупно п.о. [МЈ]	Укупно п.о. [МЈ/м2]
Ходник	5714.44	1210.68
Предсобље	4389.44	583.7
Трпезарија са кухињом	11653.8	956.011
Спаваћа соба	13376.48	844.47
Спаваћа соба	8384.32	902.51
Дневна соба	12451.83	702.3
Купатило	2471.76	718.53
Тераса	1122.704	400.96
Тераса	571.704	534.3
Укупно	60136.478	806.11

6. ПРОЦЕНА ПОЖАРНОГ РИЗИКА ЕУРОАЛАРМ МЕТОДОМ

Процена пожарног ризика представља основу за доношење одлуке о уградњи аутоматских инсталација за дојаву и гашење пожара, као и за доношење одлуке о допунским мерама заштите од пожара.

Оправданост уградње допунских мера заштите од пожара и постављање инсталација за дојаву и гашење

пожара одређује се на основу величине пожарног ризика за конструкцију објекта (носећи елементи, међуспратне конструкције, кровне конструкције и сл.), као и на основу пожарног ризика за садржај објекта (људи, опрема, намештај, ускладиштена роба и сл.).

Ризик за конструкцију објекта представља опасност која може да доведе до знатног оштећења, односно разарања конструкције објекта, док ризик за садржај објекта представља опасност за људе и имовину у објекту.

Ова два ризика су међусобно веома повезана, пошто уништење објекта обично повлачи за собом и уништење његовог садржаја, односно јачина пожара настала због паљења садржаја објекта представља главну опасност за објекат. Укупан ризик не може се навести једном од ове две бројчане вредности, због чега су, ако желимо да резултат буде употребљив, потребна најмање два одвојена податка, компонента за ризик објекта и компонента за ризик садржаја објекта. Вредности ове две компоненте уносе се на ординату и апсцису у дијаграм.

Свакој комбинацији ризика објекта одговара једна одређена тачка, која показује да ли је оправдано применити додатне мере заштите од пожара односно поставити у објекат инсталације за дојаву и гашење пожара.

Пожарни ризик објекта

Пожарни ризик за објекат зависи од могућег интензитета и времена трајања пожара, као и конструктивних карактеристика носивих елемената објекта (отпорност конструкције према деловању високих температура), а израчунава се помоћу обрасца:

$$R_o = \frac{R_i \cdot P_o \cdot C \cdot P_k \cdot B \cdot L \cdot S \cdot W}{R_i} \quad (1)$$

Где су:

- R_o – пожарни ризик за објекат
- P_o – коефицијент пожарног оптерећења садржаја објекта
- C – коефицијент сагорљивости садржаја у објекту
- P_k – коефицијент пожарног оптерећења материјала уграђених у конструкцију објекта
- B – коефицијент величине и положаја пожарног сектора
- L – коефицијент кашњења почетка гашења
- S – коефицијент ширине пожарног сектора
- W – коефицијент отпорности на пожар носеће конструкције објекта
- R_i – коефицијент смањења пожарног ризика

Израчунавањем пожарног ризика објекта добија се максимални пожарни ризик који претпоставља велику вероватноћу избијања пожара, брзо ширење пожара и ослобађање целокупног пожарног оптерећења при сагоревању. За анализирани објекат пожарни ризик износи 1.218

Пожарни ризик за садржај објекта се рачуна преко следеће формуле:

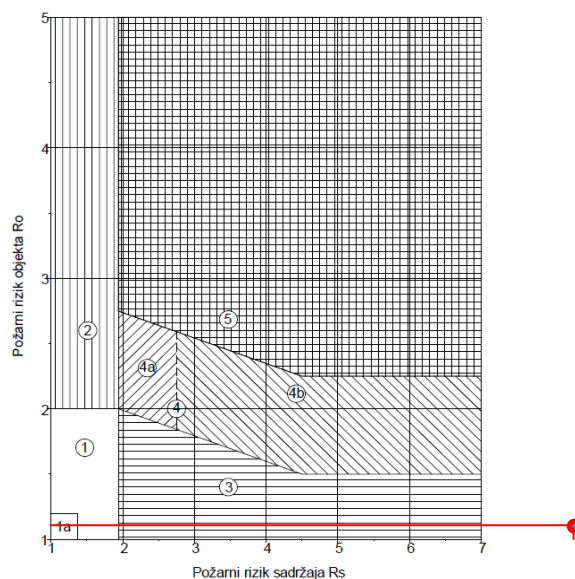
$$R_s = H \cdot D \cdot F \quad (2)$$

Где су:

- H - коефицијент опасности по људе
- D - коефицијент ризика имовине
- F - коефицијент деловања дима

За анализирани објекат пожарни ризик за садржај објекта износи 9. На основу добијених вредности за пожарни ризик објекта и пожарни ризик садржаја објекта користи се дијаграм за одређивање прорачунске тачке који је приказан на слици 2. Кад прорачунска тачка падне у шрафирани део дијаграма обавезно је у тим објектима поставити аутоматску инсталацију за дојаву и гашење пожара.

Дијаграм одлуке на основу пожарног ризика



Слика 2 Дијаграм одлуке на основу пожарног ризика

7. РЕЗУЛТАТИ АНКЕТЕ И ДИСКУСИЈА

На основу спроведене анкете коју је попунило 46,7 процената станова, односно 43 од 92 стана, добијени су следећи резултати:

График 1 Графички приказ резултата анкете



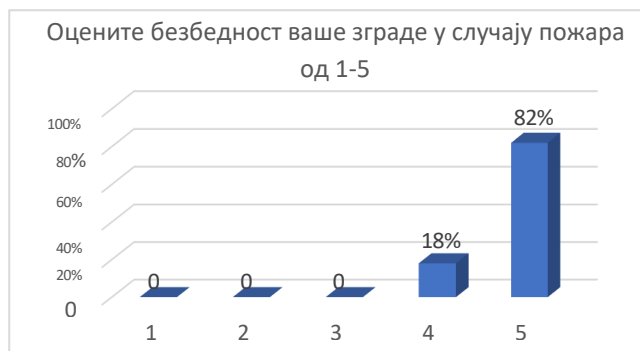


График 2 Графички приказ резултата анкете

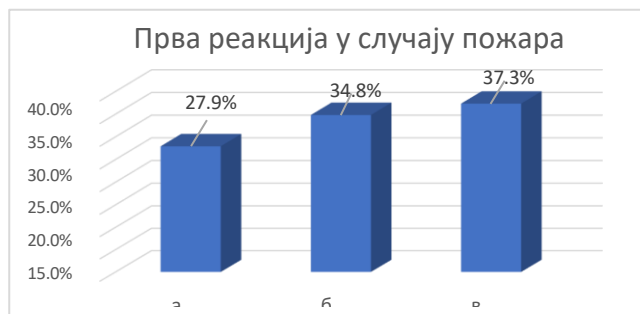


График 3 Графички приказ резултата анкете

Анализом добијених резултата може се уочити неколико занимљивости. Иако три четвртине испитаника није никада учествовало у вежби евакуације 93 процената је одговорило да зна да користи апарат за гашење пожара па се само може претпоставити да ли заиста знају да користе на прави начин или само мисле да би знали. Такође сви испитаници су позитивно одговорили на питање да ли би знали да се евакуишу у случају пожара, што би могло да укаже на то да евакуациони планови који су истакнути на видном месту имају ефекта.

8. ПРЕДЛОГ МЕРА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЗАШТИТЕ ОД ПОЖАРА

На основу анализе стања зграде и анкетирања станара може се утврдити да је ниво безбедности у случају пожара висок. Ипак, постоји простор за унапређење тих мера чиме би се остварио још виши ниво безбедности. Када је реч о приступу згради са паркинга проблем могу представљати паркирана возила због чега би једна од мера могла бити да се испред улаза обележи место на којем би било забрањено паркирање и које би служило искључиво за возила хитне службе. Када је реч о вратима која воде до евакуационог степеништа, иако су учртана у плану евакуације, код самих врата нема никаквих ознака, па би постављање знака који указује да је реч о евакуационом путу могло да олакша евакуацију, посебно за станаре који не живе дуго у згради. Такође би требало обратити пажњу на одржавање евакуационих врата и стаклених прозора у згради који се налазе између ходника и евакуационог степеништа, с обзиром да су приликом анализе стања били видно прљави и запуштени. Ормарићи са хидрантском мрежом су закључани, док би у случају да су стално

откључани процес гашења пожара могао бити бржи. Значајна мера би била организовање едукације о пожарној заштити чиме би станари стекли основна теоријска и практична знања о поступању у случају пожара.

9. ЗАКЉУЧАК

Пожари представљају веома опасну појаву која може имати бројне последице, укључујући и оне фаталне, по живи свет и животну средину. С обзиром да је осамдесет процената пожара последица директног или индиректног човековог дејства јасно је да акценат треба бити управо на овој ставци. Неопходно је системски едуковати људе о теоријским основама које се односе на пожар и које обухватају начине и услове за настајање пожара, реаговање у одређеним ситуацијама и начине да се спречи настајање пожара. Осим теоријског знања неопходно је спроводити и основне практичне обуке које би теоријско знање пренеле у практично, чиме би се постигло оспособљавање људи да адекватно поступају у случају пожара. Поред теоријског и практичног знања оно што је кључно у свим областима, па тако и у овој јесте превенција. Превенција пожара се остварује кроз бројне начине, а главни су поштовање основних правила у вези пожара и одговорно понашање. То наравно важи и у стамбеним објектима као што је зграда која је анализирана у раду. И поред свих мера које су присутне у објекту, неопходно је да се сваки становник понаша одговорно како би се спречило настајање пожара и како се не би угрозили и други станари зграде, а потом и околина.

10. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јовановић М. Д, Томановић Ј. Душица. 2002. „Динамика пожара”, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду, Ниш.
- [2] Закон о заштити од пожара, „Сл. гласник РС”, бр. 111/2009, 20/2015, 87/2018 и 87/2018 – др. закони
- [3] HSE Study Guide, <https://www.hsestudyguide.com/what-is-fire/>, преузето: 25.04.2024.
- [4] Лабан Мирјана, Цолев И, Малешев Мирјана, Радоњанин В. 2020. „Безбедност зграда од пожара, приступ и пракса западног Балкана”, Нови Сад.

Кратка биографија



Милан Петковић рођен је у Новом Саду 2000. године. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Инжењерство заштите животне средине на тему Анализа утицаја на животну средину глобалне индустрије јавних догађаја одбранио је 2023. године, а своје студије је одмах потом наставио на мастер програму Инжењерство заштите на раду.

АНАЛИЗА ЕРГОНОМСКИХ УСЛОВА ГРАДСКЕ УПРАВЕ ГРАДА ДОБОЈ**ANALYSIS OF ERGONOMIC CONDITIONS IN THE CITY ADMINISTRATION OF THE CITY OF DOBOJ**Стефан Пашалић, Немања Сремчев, *Факултет техничких наука Нови Сад***Област – ЗАШТИТА НА РАДУ**

Кратак садржај – Овај рад истражује ергономске услове који су пружени запосленима у Градској управи града Добој. Истраживање је спроведено помоћу онлајн упитника. Упитник се састоји од 18 изјава која су везана за ергономске услове радног мјеста. Градска управа града Добој броји 317 запослених од чега се 108 одазвало на упитник што је 34%, односно једна трећина запослених. На основу изнесених мишљења и анализе затеченог стања донијете су мјере за унапређење радних услова.

Кључне речи: Ергономија, упитник, анализа затеченог стања, приједлог мјера за унапређење радних услова.

Abstract – This paper investigates the ergonomic conditions provided to employees in the City Administration of the city of Doboj. The research was conducted using an online questionnaire. The questionnaire consists of 18 statements related to the ergonomic conditions of the workplace. The city administration of the city of Doboj has 317 employees, of which 108 responded to the questionnaire, which is 34%, or one third of the employees. Based on the opinions expressed and the analysis of the current situation, measures were adopted to improve working conditions.

Keywords: Ergonomics, questionnaire, analysis of the current situation, Proposal for measures to improve working conditions.

1. УВОД

Циљ овог рада јесте да се утврде и дају предлози побољшања ергономских услова у којима запослени Градске управе града Добој проводе своје радно вријеме. Да би се донијели приједлози мјера за побољшање ергономских услова прво је потребно извршити анализу затеченог стања тј. истражити у каквим тренутним ергономским условима запослени проводе своје радно вријеме. Извршена анализа затеченог стања ће допринијети у формирању онлајн упитника са изјавама на којима ће запослени износити своја мишљења и на тај начин помоћи у доношењу приједлога мјера за унапређење ергономских услова Градске управе града Добој.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистакао је из завршног рада чији је ментор био ванр. проф. др Сремчев Немања

Резултати истраживања ће допринијети у унапређењу ергономских услова и на тај начин побољшати

удобност запослених и умањити ризик од разних повреда који су асоцирани са канцеларијским пословима и радом за рачунаром.

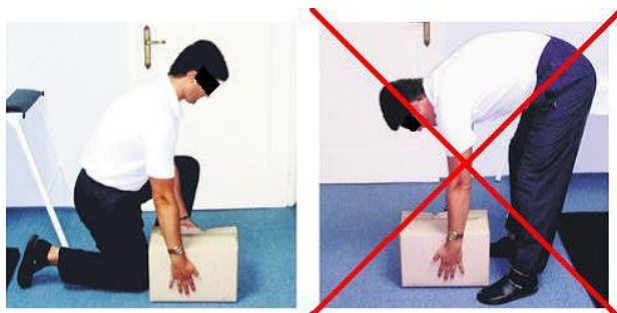
2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Ријеч „ергономија“ је изведена од грчких ријечи „ергон“ (рад) и „номос“ (закон). Дакле, ергономија би се могла дефинисати као примјењиви закони и процеси који воде дизајн уређаја, опреме, техничких система и задатака у таквом начину да се безбједност, здравље, удобност и учинак људског фактора (човјека) на радним мјестима могу постићи без незгоде [1].

За разлику од аутоматизоване фабрике, канцеларија је систем рада који у потпуности зависи од људи: без њих се ниједан посао не може обавити. Сходно томе, ергономија се фокусира на човјека као најважнију компоненту канцеларије и прилагођава канцеларију људима који су укључени [2].

Ергономија је проучавање интеракције између људи и машина и фактора које утичу на ту интеракцију. Његова сврха је да побољша перформансе система побољшањем интеракције човјека и машине. Побољшање се може постићи „дизајнирањем“ бољег интерфејса, или „редизајнирањем“ фактора радног окружења, задатка или организација рада која деградира перформансе човјека и машине [3].

Један од задатака радника у канцеларији јесте ручно управљање теретом. На примјер, преношење кутије од копира папира од ормара до фотокопир апарата, попуњавају се архивске кутије и премештају у оставу или просторије се припремају за састанке, обуке или семинаре који захтијевају преношење столова и столица, заједно са аудиовизуелном опремом. Многи канцеларијски радници преносе документе по канцеларији и носе лаптоп рачунаре до и од радног мјеста. Било који појединачни покретни објекти унутар канцеларијског окружења треба посматрати као ризици за радника ако исти није прошао обуку да задатак обави правилно и безбједно [4]. Слика 1 представља правилан и не правилан начин подизања терета са пода.



Слика 1: *Правилно (десно) и неправилно (лијево) подизање терета [5]*

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање се састојало из два дијела. Први дио је анализа затеченог стања ергономских услова који су пружени запосленима Градске управе града Добој. Циљ анализе стања је да се утврди у каквим ергономским условима радници обављају своје задатке. Анализа стања је значајно допријела у састављању упитника.

У оквиру другог дијела истраживања израђен је упитник о задовољству ергономских услова запослених у Градској управи града Добој. Ради се онлајн упитнику затвореног типа гдје су се прикупљала мишљења запослених о ергономским условима који су им пружени. Упитник се спроводио у временском периоду од августа до септембра 2024. године, на упитник се одазвало 108 испитаника од укупно 317 запослених. Такође, упитник је анониман, једноставан и сажет ради једноставнијег попуњавања.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Градска управа града Добој броји 317 запослених од чега се 108 одазвало на упитник што је 34%, односно једна трећина запослених. Од 108 испитаника 73.1% су жене, а 26.1% је мушкараца, просјечна старост испитаника је између 30 и 49 година, њих је 72.2%, док је млађих од њих 12%, а старији 15.7%. Преко 70% запослених у Градској управи града Добој има завршене основне академске студије, њих 10.2% има завешене мастер академске студије, а 17.6% имају завршену средњу школу, остатак су студенти.

4.1 Анализа затеченог стања

Градска управа града Добој је институција која се бави управљањем локалним пословима и администрацијом. Главне функције обухватају планирање и имплементацију локалних политика, пружање услуга грађанима, као и координацију између различитих сектора унутар града.

Анализа затеченог стања ергономских услова у радним просторијама Градске управе града Добој спроведена је ради бољег разумијевања тренутних ергономских услова који су обезбијеђени запосленима. Свака канцеларија Градске управе града Добој је опремљена радним столом, радном столицом, рачунаром, штампачем, орманима за документацију. Слика 2 представља изглед једне од канцеларија Градске управе града Добој.



Слика 2: *Канцеларија градске управе града Добој*

Радни сто (слика 3) је простран и на њему се налази довољно радне површине. Такође, испод стола има довољно простора за ноге са недостатком ослоња за ноге.

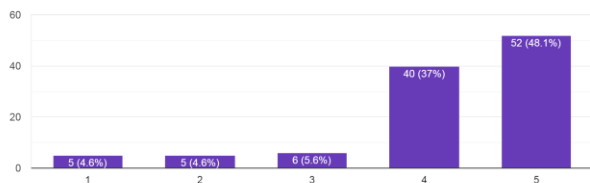


Слика 3: *Радни сто у канцеларији*

4.2 Резултати упитника

Резултат изјаве „Радно мјесто на којем проводим радно вријеме сматрам да има довољно простора“ је показао да од 108 испитаника њих 85% се слаже са изјавом тј. њих 40 (37% испитаника) се дјелимично слаже са изјавом док њих 52 (48.1% испитаника) се слаже са изјавом. Резултат изјаве је представљен графиком 1.

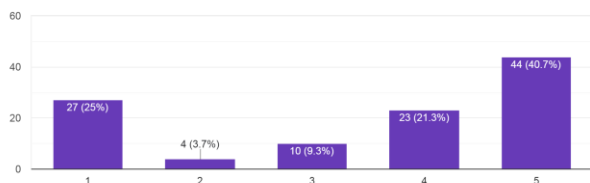
4) Радно мјесто на којем проводим радно вријеме сматрам да има довољно простора.
108 responses



Графикон 1: *Радно мјесто на којем проводим радно вријеме сматрам да има довољно радног простора*

Изјава „Сматрам да столица на којој сједим ми омогућује удобност након вишесатног рада“ потврђује претходни закључак јер 28% испитаника се не слаже са датом изјавом. Резултат изјаве дат је графиконом 2.

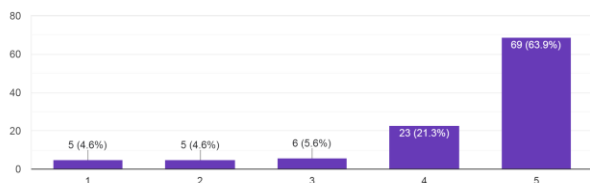
9) Сматрам да столица на којој сједим ми омогућује удобност након вишесатног рада.
108 responses



Графикон 2: *Сматрам да столица на којој сједим ми омогућује удобност након вишесатног рада.*

Изјава „Монитор који користим за обављање задатака је довољно велики“ има веома потврдан одговор јер се са датом изјавом слаже преко 80% испитаника. Резултат изјаве дат је графиконом 3.

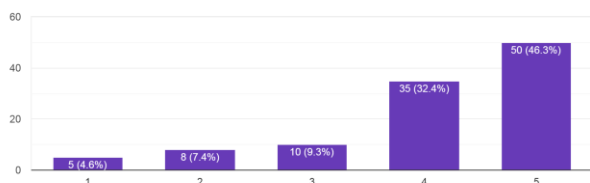
11) Монитор који користим за обављање задатака је довољно велики.
108 responses



Графикон 3: *Монитор који користим за обављање задатака је довољно велики*

Изјава „Свеукупно сам задовољан/на ергономским условима радног мјеста“ има веома потврдан резултат јер се са изјавом слаже 85 испитаника односно 78,7% испитаника. Резултат изјаве дат је графиконом 4.

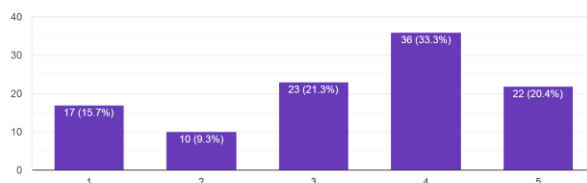
20) Свеукупно сам задовољан/на ергономским условима радног мјеста.
108 responses



Графикон 4: *Свеукупно сам задовољан ергономским условима радног мјеста*

Иако су испитаници генерално задовољни својим радним мјестима, изјава „Уколико би имао/ла прилику, мијењао/ла би ергономске услове свог радног мјеста“ указује да би половина испитаника (58, односно 53% испитаника) ипак промијенила ергономске услове свог радног мјеста. 27 испитаника, односно 25%, се не слаже са овом изјавом док 23 испитаника, односно 21.3%, нема мишљење по питању ове изјаве. Резултат изјаве је приказан на графикону 5.

21) Уколико би имао/ла прилику, мијењао/ла би ергономске услове свог радног мјеста.
108 responses



Графикон 5: *Уколико би имао/ла прилику, мијењао/ла би ергономске услове свог радног мјеста.*

4. ДИСКУСИЈА

Изјава „Радно мјесто на којем проводим радно вријеме сматрам да има довољно простора“ има веома потврдан одговор јер 85% испитаника се слаже са датом изјавом што нам даље говори да су запослени задовољни са простором тј. канцеларијом која им је обезбијеђена за обављање задатака у току радног времена. Током анализе затеченог стања утврђено је да канцеларија Градске управе града Добој има довољно простора за 3 запослена.

Изјава „Сматрам да столица на којој сједим ми омогућује удобност након вишесатног рада“ иако има потврдан одговор јер се са њом слаже 2/3 испитаника, остатак осјећа неку врсту неудобности у току вишесатног рада. Разлог оваквог резултата може бити столице које су обезбијеђене запосленима имају подршку за леђа, рука и имају могућност подешавања висине нису намјењене за вишесатни рад.

Изјаве „Монитор који користим за обављање задатака је довољно велики“ и „На монитору могу увијек да видим и прочитам шта се на њему налази“ су имале веома потврдне резултате. Приликом анализе затеченог стања је утврђено да монитори који запослени користе имају довољно велику радну површину и адекватно су освјетљени.

Изјава „Свеукупно сам задовољан/на ергономским условима радног мјеста“ има сличан потврдан резултат као и претходна изјава. Запослени Градске управе града Добој су очигледно задовољни ергономским условима који су им обезбијеђени.

Изјава „Уколико би имао/ла прилику, мијењао/ла би ергономске услове свог радног мјеста“ показује да иако су претходне двије изјаве имале потврдан резултат односно да су запослени задовољни ергономским условима и начином на које је радно мјесто прилагођено њиховим потребама би ипак на неки начин промијенили ергономске услове када би имали прилику. Изјава је показала да се 58

испитаника (53% испитаника) слаже са датом изјавом, а 23 испитаника (21%) није сигурно у своје мишљење у вези са датом изјавом. Разлог несигурности мишљења испитаника на дату изјаву може бити неразумијевање бенефита које унапређење ергономских услове може да допринесе радном простору. Смањење неугодности у зглобовима, напрезање очију, могућност промјене из сједеће у стојећу позицију су само неки од могућих ергономских унапређења.

5. ПРИЈЕДЛОГ МЈЕРА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ РАДНИХ УСЛОВА

Приједлог мјера коју су донешени на основу претходне анализе затеченог стања и резултата упитника су следећи:

Радни простор: Приликом анализе затеченог стања уочено је да радницима није обезбјеђен начин да правилно и сигурно остављају и узимају документе са врха ормара. Мердевине или степеник са гуменом храпавом подлогом ради смањења ризика од подклизавања би омогућило запосленима да на безбједнији начин врше остављање или узимање документа са врха ормара.

Радни сто: Могућност подешавања висине стола би омогућило запосленом да боље прилагоди радни сто својим потребама и на тај начин смањи ризик од повреда који су повезани са неправилним положајем тијела. Боља организација радног стола може да повећа ефикасност запослених и смање непотребно губљење времена у току обављања задатака. Имплементација лин (енг. lean) или 5с су неки од метода за унапређење ефикасности радног простора. Такође, имплементација ослонца за ноге би додатно помогло запосленом да држи правилан положај тијела.

Радна столица: Иако је радницима обезбјеђена класична канцеларијска столица, имплементација савремених ергономских столица би омогућило запосленима удобнији и мање ризичнији вишесатни сједећи рад. Недостатак савремених ергономских столица је јако висока цијена.

Монитор: Монитори који запослени користе имају довољно радне површине и адекватно су освјетљени али немају могућности подешавања висине (могу само да промјене угао гледања). Подешавање висине би омогућило запосленом да се лакше прилагоди правилном положају тијела.

Тастатура: Генерична тастатура коју запослени користе је прихватљива за обављање задатака, једина

примједба је недостатак ослонца за зглобове која би помогла запосленима који осјећају неудобност у рукама/зглобовима у току рада и на тај начин умањила ризик од повреда руку или зглобова.

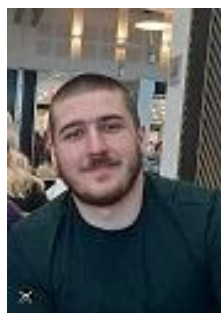
6. ZAKLJUČAK

Анализа затеченог стања у комбинацији са резултатима упитника омогућила је боље разумијевање ергономских услова који су обезбјеђени запосленима и додатно олакшала у доношењу приједлога за унапређење радног мјеста. Анализом резултата изјава из упитника показала је генералу задовољеност ергономским условима који су пружени запосленима Градске управе града Добој, али опет поред генерале задовољности ипак постоји доста простора за унапређене иситх услова.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Puyate, S.T & Osuku, Mrs. 2007. „Ergonomics and safety at work place -the human, social and' economic implications". Journal of technical and science education.
- [2] Bridger, R. 2008. „Introduction to Ergonomics" (3rd ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781439894927>
- [3] Kroemer, A.D., & Kroemer, K.H.E. 2016. „Office Ergonomics: Ease and Efficiency at Work", Second Edition (2nd ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315368603>
- [4] McKeown, C. 2008. „Office Ergonomics: Practical Applications" (1st ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9780849379765>
- [5] <https://www.politika.rs/sr/clanak/54355/Procenite-svoju-snagu>, сајту приступљено 11.10.2024 у 10:56.

Кратка биографија:



Стефан Пашалић, рођен у Добоју, БиХ, 1997. године. Фебруара 2023. године стиче звање дипломираног инжењера заштите на раду.

СОЛАРНА СТАНИЦА СА МОГУЋНОШЋУ БЕЛЕЖЕЊА И ПРИКАЗИВАЊА ПОДАТАКА

SOLAR STATION WITH THE ABILITY TO RECORD AND DISPLAY DATA

Константин Савић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МЕХАТРОНИКА

Кратак садржај – У овом раду дизајнирана је, произведена и оспособљена макета уређаја за даљински надзор рада соларног панела и временских услова у којима се уређај налази. Целокупан систем је тестиран и пуштен у рад, на основу чега су изведени закључци о функционалности уређаја.

Кључне речи: Соларна станица, визуализација, даљинско надгледање и управљање, самоодрживост.

Abstract – In this work a model of a device for remote monitoring of a solar panel's performance and the surrounding weather conditions was designed, developed and brought to full functionality. The entire system was tested and successfully implemented, leading to conclusions about devices's overall functionality.

Keywords: Solar station, visualization, remote monitoring and control, self-sustainability.

1. Увод

Модерно доба дефинисано је брзим технолошким развојем и константним порастом енергетских потреба. Велике количине фосилних горива се и даље сагоревају како би се остварила производња довољно електричне енергије за све већи број електричних система и уређаја. Развој чистијих и обновљивих извора енергије је у великом замаху и све више техничке мисли се окреће у смеру истраживања и развоја на том пољу.

У Републици Србији је удео обновљивих извора енергије око 30% укупне годишње производње од чега највећи део потиче из система хидроелектрана које производе 26% док ветроелектране, соларне фарме и други обновљиви извори заједно остварују скромних 4% према званичним подацима Електропривреде Србије за 2023. годину [1].

Овај рад се односи на макету уређаја који потенцијално може помоћи корисницима заинтересованим за уградњу соларних панела. Дизајниран је са идејом постављања на локацију која је у разматрању за инсталацију соларног система где ће прикупљати податке о временским условима и дневној производњи

може произвести на датум локацији одакле се могу извести закључци о исплативости инвестиције.

2. Функционалност система

Уређај поседује могућност даљинског читавања прикупљених података као и активирања уграђених актуатора преко мобилне апликације. Као такав се уклапа у концепт под називом Интернет ствари (Internet of Things – IoT) који подразумева повезивање из свакодневне употребе на интернет омогућавајући им међусобну комуникацију и размену података. Тиме се може повећати ефикасност у раду, уштеда енергије и значајно побољшати корисничко искуство.

Специјално дизајнирана апликација путем WiFi мреже прима делимично обрађене податке са соларне станице и приказује их у форми бројевних вредности као и кроз креирани график. Додатна функционалност макете се огледа у систему брисача који се активирају у случају детектованих падавина или ручно путем апликације како би се обезбедила чиста површина соларног панела.

Соларна станица има могућност мерења напона на панелу што представља врло битну информацију у праћењу перформанси. Затим се врши мерење температуре и влажности како би се приказао утицај тих величина на производњу електричне енергије. Детектор падавина својим одзивом уноси још један фактор у разматрање и у исто време покреће секвенцу рада брисача. Брисачи су распоређени тако да покривају максималну могућу површину соларног панела. Покрећу се помоћу два серво мотора како би се омогућило адекватно управљање и позиционирање брисачких метлица. На слици 1 је приказана макета.



Слика 1. Приказ макете

3. Компоненте система

Систем је дизајниран тако да се већина његових саставних елемената састоји из готових електронских и електромеханичких модула како би се убрзао рад и поједноставила израда. Поред стандардних компонената коришћена је метода 3D штампе за

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је била др Гордана Остојић, редовна професорка. на свом панелу. На основу добијених података може се извести едукована процена количине енергије која се

израду специфичних механичких делова и везивних елемената.

3.1 Микроконтролер

Коришћен је микроконтролер XIAO ESP32S3 који се одликује одличним софтверским могућностима упркос димензијама од само 21x17,5 mm. Поседује уграђене Bluetooth и WiFi модуле што значајно олакшава остваривање бежичне комуникације. Компактан дизајн и мале димензије уз могућност екстерног напајања преко литијумске батерије за коју има имплементиран систем управљања чини га одличним за пројекте овог типа. Снажан процесор Xtensa 32-bit LX7 са два језгра и фреквенције 240 Hz омогућава контролеру брзо извршавање више задатака одједном. Аналогно дигитални конвертор је дванаестобитан што даје резолуцију од 4095 која је погодна за прецизно читавање аналогне вредности напона са сензора [2]. На слици 2 приказан је изглед микроконтролера.



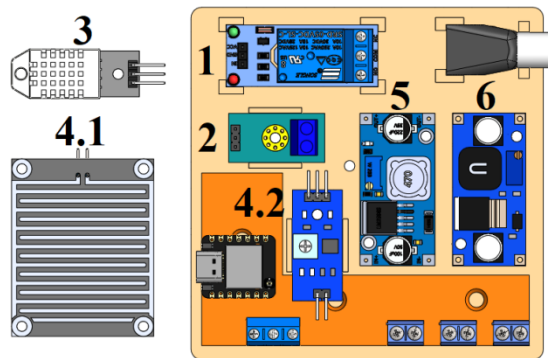
Слика 2. Микроконтролер XIAO ESP32S3

3.2 Соларни панел

Основа система јесте монокристални соларни панел снаге 30 W и номиналног напона од 24 V. Мерење напона са панела представља основни податак у праћењу рада станице јер представља директан показатељ количине енергије која се може произвести на локацији на којој је уређај постављен. Енергија која се производи за време рада станице тј. довољне осветљености панела чува се у батеријском паковању и користи за напајање контролних јединица уређаја као и свих уграђених сензора и актуатора чиме се остварује потпуна самоодрживост система.

3.3 Сензори

Као што је већ напоменуто, један од најважнијих података од интереса јесте напон на панелу. Сензор напона изведен је као напонски разделник са прецизним отпорницима. Читавање аналогне вредности напона на пину контролера на који је повезан и израчунавање на основу једначине напонског разделника дају бројевну вредност која се приказује на екрану за читавање и на временском графику [3]. Пре узимања вредности напона на панелу, применом релејног модула врши се одвајање панела од батеријског система како променљиво оптерећење приликом пуњења не би утицало на мерења. На слици 3 и позицији 1 налази се релејни модул док се на позицији 2 налази модел напонског сензора.



Слика 3. Електронски модули

За мерење температуре и влажности ваздуха користи се сензор ознаке DHT22. Као сензорски елемент за мерење температуре користи се термистор тј. отпорник чија се отпорност мења са температуром. Отпорност се потом конвертује у степене Целзијуса и шаље на контролер. Капацитивни сензор се користи за мерење влажности, променљива капацитивност се читава, конвертује у проценте и као таква користи за читавање. Сензорски модул поседује аналогно дигитални конвертор као и комуникациони интерфејс преко кога остварује комуникацију са контролером. Заштитно кућиште омогућава адекватан проток ваздуха за мерење док истовремено чува компоненте од оштећења [4]. Сензор је уграђен иза соларног панела како би био заштићен од директне сунчеве светлости. На слици 3 се може видети изглед сензорског модула на позицији 3.

Присуство падавина се детектује помоћу сензорске плочице и модула за конверзију и компарацију. Сензорска плочица пресвучена је слојем никла у форми две електроде изведене као одвојени водови (слика 3, позиција 4.1). Модул читава отпорност са плочице и пореди га са унапред подешеном вредношћу (слика 3, позиција 4.2). У случају падавина отпорност на плочици се значајно смањује што изазива наглу промену вредности на компаратору који на контролер шаље одговарајући сигнал [3]. Присуство падавина је поред податка који се читава важно и као управљачки сигнал за укључивање секвенце брисања површине панела. Сензорска плочица монтирана је изнад соларног панела паралелно са његовом површином како би била изложена истим временским утицајима као и он.

3.4 Актуатори

Обзиром да је уређај предвиђен за рад на отвореном простору неминовно је да се површина соларног панела задрља честицама прашине и других нечистоћа из околине. Због тога је систем опремљен брисачима који имају улогу да периодично очисте што већи део површине панела како би услови за читавања били што сличнији. За покретање система брисача користе се два серво мотора TD-8120MG који се одликују добром прецизношћу, једноставним управљањем, одличним односом снаге и димензија као и приступачном ценом. Мотори су водоотпорни што их чини адекватним за употребу у систему изложеном променљивим временским приликама [5]. На слици 4

приказан је серво мотор са брисачем уграђен на конструкцију уређаја.

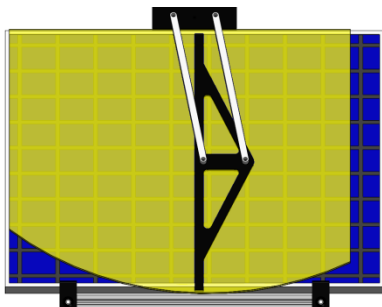


Слика 4. Серво мотор на конструкцији

3.5 Брисачи

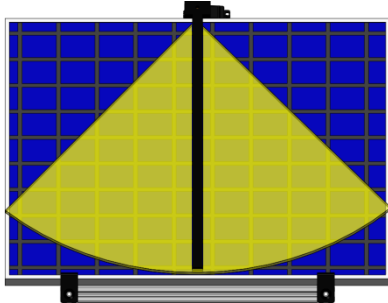
Систем брисача се састоји од две брисачке метлице који се покрећу поменутим серво моторима. Разматрано је неколико варијанти и механизма како би се постигли оптимални резултати.

Прво је разматран систем пантографа који се често користи за брисање већих правоугаоних површина као што су ветробрани камиона, аутобуса и слично. Одбачен је као механички комплексан и услед немогућности потпуног уклањања метлице са површине панела што како би се постигла максимална откривеност. На слици 5 приказан је модел овог система (жутом бојом је означена површина коју захвата метлица при брисању).



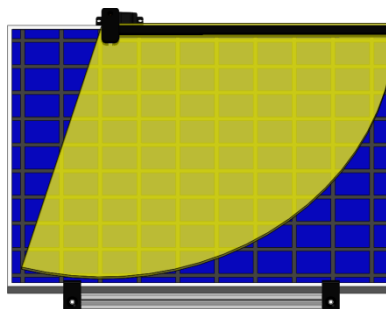
Слика 5. Систем пантографа, 3D модел

Затим су разматрани једноставни механизми са једном метлицом на средини и благо померен у страну панела. Метлица на средини је најједноставнија и најлакше изводљива али је површина брисања најмања што се може видети на слици 6.



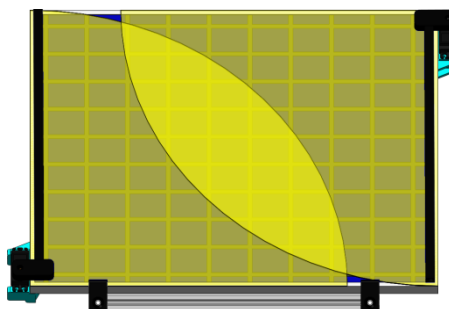
Слика 6. Систем са једном метлицом, 3D модел

Позиција метлице померена према једној бочној страни панела даје нешто боље али и даље недовољно добре резултате. На слици 7 приказан је и тај систем.



Слика 7. Систем са помереном метлицом, 3D модел

Две брисачке метлице су, и поред неопходности два мотора за реализацију, најбоље решење у погледу поузданости механизма и покривености површине панела, што је приказано на слици 8.



Слика 8. Систем са две метлице, 3D модел

3.5 Систем за напајање

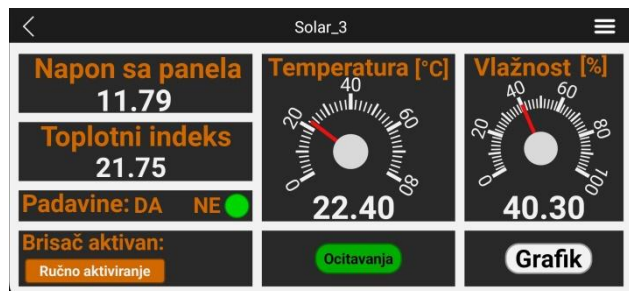
Енергија коју панел производи чува се у батеријском паковању и користи за напајање система током рада и у условима слабе осветљености. Основу батеријског паковања чине четири литијумске батерије 18650 повезане на ред како би се обезбедио довољан радни напон. Систем за контролу (BMS) обезбеђује правилно пуњење и пражњење батеријских ћелија чиме продужава њихов животни век. Још једна битна особина система за контролу јесте заштита од кратког споја и термалног оптерећења које би довело до нестабилности батеријских ћелија и представљало опасност од пожара. У уређају се налази и један подизач напона (CN6009) чија је улога да напон са панела одржава на 15 V како би се остварило допуњавање батерија, приказан је на слици 3, позиција 6. Спуштач напона (LM2596) повезан је на батеријско паковање чији напон спушта на 5 V који је неопходан за рад контролера и сензора. На слици 9 приказано је батеријско паковање.



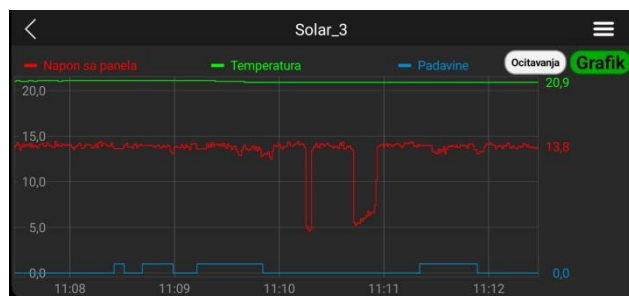
Слика 9. Батеријско паковање

4. Мобилна апликација

Интерфејс за даљинско надгледање и управљање реализован је коришћењем софтверског алата RemoteXY. Креирана су два екрана од којих први приказује вредности свих мерених величина, омогућава ручно активирање секвенце брисања панела и приказује статус активности брисача. Други екран садржи график који приказује промену напона са панела и температуре као и присуство падавина у изабраном временском интервалу. Оба екрана су дизајнирана према стандардним димензијама мобилних уређаја (9x20) у две оријентације, вертикалној и хоризонталној како би се омогућила што боља прегледност. Динамичке компоненте на екранима, мерни инструменти, бројевне вредности и светлосни индикатори софтверски су повезани са одговарајућим сензорима и актуаторима како би приказивали вредности у реалном времену. Оба екрана опремљена су виртуелним тастерима којима се омогућава прелазак са једног на други и обрнуто. На сликама 10 и 11 приказани су екрани у хоризонталној оријентацији приликом тестирања у реалним условима.



Слика 10. Екран са очитавањима



Слика 11. Екран са графиком

5. Закључак и правци даљег истраживања

Током тестирања уређаја у реалним условима утврђена је исправност алгоритама аквизиције и обраде података, њихово слање бежичним путем и приказ на предвиђени начин. Брисачки систем ефективно извршава своју функцију у случају детекције падавина или ручног активирања из апликације. WiFi мрежа је стабилна и преноси податке како је планирано. График правилно приказује вредности променљивих од интереса у изабраним временским интервалима.

Даље истраживање и развој се може наставити у два смера, хардверском и софтверском.

Софтверски се систем може унапредити реконфигурацијом програмског кода тако да се прикупљени подаци шаљу и чувају у бази података. База се може релативно лако креирати употребом неког од познатих алата као што су MySQL, PostgreSQL, Caspio и слично. Ова промена би унапредила систем могућношћу повезивања и очитавања података са било које локације на којој је доступна интернет мрежа.

Хардверска измена система би се огледала у замени релејног модула неком другом врстом прекидачког елемента без покретних делова као што је транзистор или мосфет. Релејни модул представља компоненту најподложнију отказу услед постојања покретног прекидачког елемента са релативно великом учестаношћу рада. Даљи развој хардвера био би у смеру дизајнирања и производње штампане плочице која би објединила микроконтролер, стабилизаторе напона и остале компоненте које су сада искоришћене као готови модули. Тренутна носећа конструкција дизајнирана је и израђена за макету уређаја, у случају реалне примене било би неопходно извршити измене у погледу носивости и водоотпорности кутије за електронске компоненте.

6. Литература

- [1] Е. Србије. [На мрежи]. Available: <https://www.eps.rs/lat/Poslovanje-EE/Stranice/Proizvodnja-elen.aspx>. [Последњи приступ 20 8 2024].
- [2] „Seed Studio,“ [На мрежи]. Available: https://wiki.seeedstudio.com/xiao_esp32s3_getting_started/. [Последњи приступ 15 08 2024].
- [3] L. M. Engineers. [На мрежи]. Available: https://lastminuteengineers.com/rain-sensor-arduino-tutorial/?utm_content=cmp-true. [Последњи приступ 28 07 2024].
- [4] Waveshare. [На мрежи]. Available: https://www.waveshare.com/wiki/DHT22_Temperature-Humidity_Sensor. [Последњи приступ 29 07 2024].
- [5] S. Founder. [На мрежи]. Available: https://cnc1.lv/PDF%20FILES/TD-8120MG_Digital_Servo.pdf. [Последњи приступ 08 09 2024].

Кратка биографија



Константин Савић рођен је у Пожеги 2000. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области роботике и аутоматизације – Примена алгорита за оптимално слагање кутија роботском руком на регалној дизалици одбранио је 2023. год.

Контакт: kostasavic00@gmail.com

РАЗВОЈ УРЕЂАЈА ВИСОКЕ ТАЧНОСТИ У ФУНКЦИЈИ АКТИВНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА ПРИ ВЕЛИКИМ СТРУЈАМА, УЗ ЕЛИМИНИСАЊЕ УТИЦАЈА "GND" ПЕТЉЕ НА ТЕСТНИ СИГНАЛ

DEVELOPMENT OF HIGH-ACCURACY DEVICES IN THE FUNCTION OF ACTIVE LOAD AT HIGH CURRENTS, WHILE ELIMINATING THE INFLUENCE OF THE "GND" LOOP ON THE TEST SIGNAL

Дарко Бабијановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МЕХАТРОНИКА

Кратак садржај – Рад се заснива на пројектовању активног оптерећења за тестирање извора напајања и параметризовања батеријских ћелија. Састоји се од три кључне целине, истраживања, пројектовања и тестирања. Истраживање је показало да је постојање линеарног активног оптерећења веома оскудно. Пројектовање је реализовано у три целине: механички склоп, електронско решење и писање софтвера. Приликом склапања уређаја, редом су тестиране све целине система.

Кључне речи: Активно оптерећење, тестни сигнал, МОСФЕТ, мерење напона, аналогна регулациона петља, операциони појачавач.

Abstract – The work is based on designing an active load for testing the power sources and parameterizing the battery cells. It consists of three key units, research, design and testing. Research has shown that the existence of a linear active load is very rare. The design was realized in three units: mechanical assembly, electronic solution and software. When assembling the device, all parts of the system were tested.

Keywords: Active load, test signal, MOSFET, voltage measurement, analog control loop, operational amplifier

1. УВОД

Идеја за овај рад потекла је у сарадњи са компанијом „Тајфун ХИЛ“ из Новог Сада.

Компанија се бави производњом уређаја за симулирање и тестирање енергетских система. Како се аутомобилска индустрија све више развија, потреба за оваквим системима је све већа. Фирма је одлучила да део посла преусмери према овој индустрији и то у виду симулација и тестова за батеријске ћелије, које се користе као главни извор енергије у електричним аутомобилима. Циљ овог рада је да се направи функционалан уређај

Потребно је направити једносмерно оптерећење, који

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био др Владимир Рајс, ван. проф.

ће се користити за тестирање и калибрацију модела батерија такзвани „DC load“, који ће кориснику

омогућити да зада константно оптерећење у виду струје, којом ће оптеретити тестни сигнал.

2. ЗАДАТАК РАДА

Кроз задатак рада је објашњена разлика између активних и пасивних оптерећења. Тема овог рада се заснива на пројектовању активног оптерећења, како би се могло управљати жељеним вредностима напона и струје. Цео систем се заснива на регулисању протока струје кроз коло помоћу активних и пасивних електронских компоненти.

2.1. Циљ рада и спецификација уређаја

Главни циљ јесте пројектовање аналогне контролне петље која управља МОСФЕТ-ом у улози објекта управљања. Предност аналогне петље у односу на дигиталну јесте управљање без утицаја шума који протиче од брзих дигиталних управљачких сигнала.

Четири целине кроз које се може описати рад јесу:

- 1) Тестирање струја до 5 А са напоном реда величина 100 mV (ово је могуће постићи због саме конструкције МОСФЕТ-а, а такође зависи и од тестираног уређаја и његове унутрашње отпорности)
- 2) Анализа постојећих техника активних оптерећења и уклањање њихових недостатака
- 3) Проблематика мерења, предности и мане контактне и безконтактне методе мерењ струје
- 4) Пројектовање уређаја тако да има могућност

Табела 2.1 Детаљна спецификација по каналу уређаја

	Канал	Напон	Струја	Снага (Импулсно)
Улаз	1	0-100 V	0.1 mA – 20 A	200 W (300W)
	2	0-100 V	0.1 mA – 20 A	200 W (300 W)
„СС“ режим	Опсег		Тачност	Резолуција
		0 – 1 A	$\pm 0.05\%FS \pm 0.1 \text{ mA}$	0.1 mA
		0 – 5 A	$\pm 0.05\%FS \pm 0.5 \text{ mA}$	1 mA
		0 – 30 A	$\pm 0.1\%FS \pm 3 \text{ mA}$	1 mA
„CR“ режим		0.01 - 1	$\pm 0.1\%FS \pm 1 \text{ m}\Omega$	1 mΩ
		1 – 10 Ω	$\pm 0.1\%FS \pm 5 \text{ m}\Omega$	10 mΩ
		10 – 1000 Ω	$\pm 0.1\%FS \pm 10 \text{ m}\Omega$	100 mΩ
„CP“ режим		0 – 15 W	$\pm 0.1\%FS \pm 10 \text{ mW}$	10 mW
		0 – 150 W	$\pm 0.1\%FS \pm 100 \text{ mW}$	100 mW

мерења струје у високој класи тачности

У наставку је приказана детаљна спецификација по каналу уређаја.

2.2. Постизање максималне резолуције при 20 А као и при 5 А опсегу

Уређај је по спецификацији пројектован тако да може да оптерети батерију максималном снагом од 200 W континуално, односно 300 W импулсно, али водећи рачуна да су максималне вредности напона 100 V и струје 20 А. Како је за контролу струје коришћен МОСФЕТ са веома малом унутрашњом отпорношћу, могуће је остварити велике струје са малим напонем на дрејну, реда величина 100 mV.

2.3. Елиминисање „GND петље“ приликом мерења струје

Приликом пројектовања уређаја, потребно је обратити пажњу да тестни сигнал (ДУТ-„Device under test“) што мање изгуби на својој величини, односно да након уласка сигнала у уређај не дође до пада напона на излазу. Како би се тај проблем максимално умањило, потребно је направити што краћу путању струје, да не би приликом затварања струјног кола дошло до значајних падова напона услед отпорности бакарних водова у штампаној плочи.

2.4. Четворожично мерење струје на отпорнику и струјном сензору

Четворожичним начином мерења пада напона на отпорнику се одстрањује утицај пада напона услед отпорности и капацитивности самих каблова, односно водова на штампаној плочи или спојева уколико се ради о мерењу помоћу инструмента. Овај принцип подразумева да се кроз један пар доводи напајање на отпорник, односно омогућава проток струје кроз њега, док се други пар водова везује што је ближе могуће отпорнику и даље се водовима једнаке дужине доводи до компоненте за мерење пада напона. Приликом дигиталног управљања, постоји могућност кориговања грешке креирањем „lookup“ табеле у контролеру, који ће на основу ње бирати наредне вредности.

2.5. Пројектовање уређаја за мерења струје у опсегу 20 А као и 10 mA

Како би се постигла жељена тачност, потребно је користити брзе, прецизне и поуздане компоненте. Кључне компоненте за постизање задате тачности су МОСФЕТ, операциони појачавач у улози регулатора и струјни сензор. Потребно је извршити избор компоненти како би систем радио са што мање осцилација и што тачније приказивао жељену вредност струје.

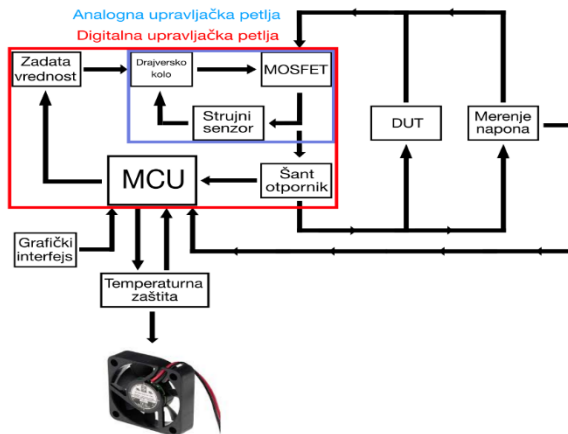
3. ИСТРАЖИВАЊЕ

У овој области ће бити детаљније објашњен избор главних компоненти за функционисање аналогног дела овог система. Како би се постигла контрола струје, потребно је направити систем са повратном спрегом. Компонента која има улогу да контролише протикање струје јесте МОСФЕТ. Уколико се на гејт МОСФЕТ-а доведе напон нижи од његовог прага провођења, он ће бити закочен и кроз њега не тече струја. Како се напон V_{gs} повећава, канал МОСФЕТ-а се постепено отвара и кроз њега протиче све већа количина струје. МОСФЕТ у

овој конфигурацији ради у омској области, при чему је однос напона V_{gs} и струје линеаран.

Затворена управљачка петља се остварује уз помоћ струјног сензора, који нам приказује тренутну вредност струје и операционог појачавача који има улогу регулатора јер му је задатак да изједначи измерену вредност струје са задатом.

У наставку је приказан блок дијаграм уређаја.



Слика 3.1 Приказ блок дијаграма уређаја

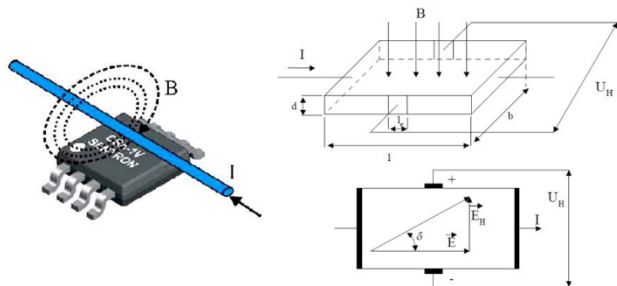
3.1. Избор компоненти

Када је реч о коришћеним компонентама, потребно је да буду брзе, прецизне и да раде без осцилација. МОСФЕТ (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) је једна од кључних компоненти у овом систему. Његова улога је да пропушта задату количину струје. У овом раду коришћен је МОСФЕТ са индуктивним каналом, Н каналног типа. Предност коришћеног МОСФЕТ-а је његова структура, која је сачињена од много малих, паралелно повезаних транзистора, те му таква структура омогућава равномерно дељење струје, а самим тим и једнако грејање у свим тачкама (на тај начин се избегава „hot spot“). Такође је коришћење линеарног МОСФЕТ-а поједноставило његово управљање, па регулацијом напона на гејту, можемо очекивати спорију промену ширине канала, за разлику од уобичајеног МОСФЕТ-а, где је ова промена веома брза (минимална промена на гејту доводи до веома брзог отварања/затварања канала, па је регулација отежана).

Један од начина мерења струје јесте пропуштањем струје кроз отпорник и мерења пада напона на њему (тзв. шант отпорник). Познавајући тачну отпорност и мерењем пада напона на отпорнику, помоћу Омовог закона се може израчунати струја која протиче кроз отпорник. Отпорник је коришћен у конфигурацији за „low side current sensing“, односно мерење пада напона на отпорнику при чему је један крај повезан на нулти потенцијал, односно масу, а други је директно на сорс транзистора.

Како је поменуто у претходном поглављу, за мерење струје је коришћен струјни сензор произвођача „Allegro MicroSystems“ а модел је „ACS724LLCTR-05AU-T“. Овај модел струјног сензора се заснива на Холовом ефекту. Приликом протикања струје кроз сензор, индукује се магнетно поље које се детектује интегрисаним колом у

чипу (*Hall IC*) и конвертује се у напон који је на излазу пропорционалан струји. На наредној слици је приказан принцип рада Холовог сензора.



Слика 3.2 Принципи Холовог сензора [2]

Поред наведеног сензора, коришћен је још један, како би се вредност измерене струје проследила у микроконтролер и оставила могућност дигиталне регулације од стране контролера. Коришћен сензор је „INA310A1“ и он мери пад напона на шант отпорнику.

Операциони појачавач се користи за регулацију струје, односно поређење задате и остварене величине, тежећи ка томе да их изједначи.

4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ УРЕЂАЈА

Уређај је потребно направити у форми самосталног уређаја и омогућити управљање преко „CAN“ комуникационог протокола.

Уређај је са механичке стране пројектован тако да се не предњој страни налазе прикључци за тестни сигнал, као и екран и енкодер за избор режима рада, односно комуникацију са корисником, док су са задње стране постављени конектор и прекидач за напајање, конектори за приказивање сигнала струје сваког МОСФЕТА и конектор за „CAN“ комуникацију. Уређај је пројектован у 2U кућишту, како би се омогућила једноставнија уградња у електричне ормане.

Када је реч о пројектовању електронике за уређај, пројектована је једна штампана плоча. На њој се може издвојити део за напајање, аналогни управљачки део за контролу струје, температурна заштита, као и

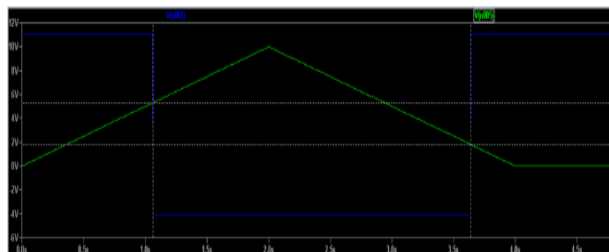
у улози регулатора, који има задатак да изједначи мерену вредност са струјног сензора и задату вредност од стране корисника.

Иако је аналогна петља примарни циљ, систем је пројектован тако да постоји и регулација дигиталним путем, помоћу микроконтролера и одговарајућих компоненти за обраду сигнала. Мерењем пада напона на шант отпорнику и враћањем те вредности у микроконтролер, могуће је направити алтернативно решење и у потпуности занемарити утицај аналогне контролне петље. У овом случају је потребно направити „lookup“ табелу која нам омогућава да коригујемо вредности струје у односу на претходна мерења.

Приликом пројектовања, потребно је обратити пажњу да је спецификацијом прописан избор између три режима:

1. CC (*constant current*)-режим константне струје
У овом режиму се од корисника тражи да унесе струју којом жели да оптерети тестни сигнал, а уређај одржава ту вредност струје константном, без обзира на то колико се оптерећење доведе на ДУТ (*device under test*).
2. CR (*constant resistance*)-режим константног отпора
Овај се режим најчешће користи при тестирању напонских извора, попут батерија. Без обзира на мењање вредности напона тестног сигнала, уређај се понаша као фиксни отпорник, а вредност отпора се одржава регулацијом струје кроз МОСФЕТ.
3. CP (*constant power*)-режим константне снаге
У овом режиму се задаје снага којом ће ДУТ бити константно оптерећен. Уколико се ради о ДУТ-у који представља напонски извор, како би се одржала задата снага, потребно је регулисати струју.

Још једна од целина у овом раду је модул за мерење напона ДУТ-а, што нам омогућава и постизање претходно поменутих режима рада. Приликом мерења напона, постоји аутоматски избор опсега, како би мерење било што прецизније и поузданије, а такође је и пројектована пренапонска заштита за АД конвертор. Аналогно-дигитални конвертор се користи за претварање аналогног сигнала, у овом случају напона, у дигитални сигнал који је природан за микроконтролер.



Како би се спречило очитивање превисоког напона, које може да оштети АД конвертор, пројектована је пренапонска заштита помоћу хистерезиса. На наредној слици се може видети сигнал на излазу компаратора који поседује хистерезис (обележен плавом бојом), док је зеленом приказан референтни сигнал, односно напон који меримо.

Приметимо да је до прага напонског прекорачења излаз

Слика 4.1 Приказ функције хистерезиса

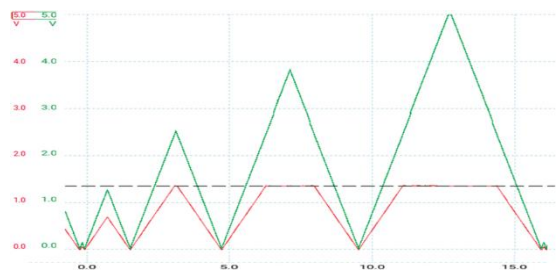
операционог појачавача висок, док након преласка прага, излаз постаје низак. Како би излаз поново постао висок,

микроконтролерски склоп задужен за обраду свих дигиталних сигнала у систему.

Аналогна управљачка петља је основни задатак овог рада. На тржишту је тренутно веома мали број аналогних уређаја, те овај рад добија посебан значај. Аналогна петља је отпорнија на брзе дигиталне промене у виду шума, које се могу појавити и услед коришћења прекидачких регулатора напона, те су стога коришћени

линерани регулатори. Само управљање, односно регулација струје се врши путем операционог појачавача

није довољно да напон падне испод прага, већ је потребно да опадне на 80% његове вредности.



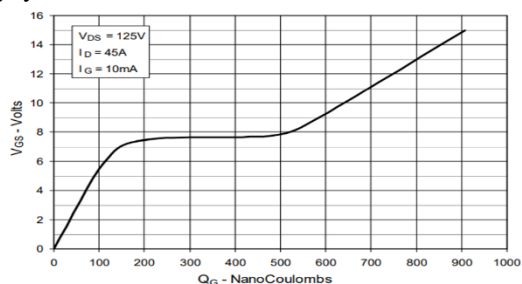
Слика 4.2 Приказ струје задате путем микроконтролера

Софтверски део уређаја је задужен за контролу како дигиталне управљачке петље, тако и за комуникацију са корисничким интерфејсом, температуру заштити, мерење напона и комуникацију са другим уређајима путем „CAN“ порука. У тест фази рада је коришћен микроконтролер „STM32F405“ у комбинацији

са 16-битним ДА конвертором којим је задавана вредност струје. Приказан је сигнал са осцилоскопа, где је црвеном бојом приказана мерена вредност струје (тестирано је напајање са прекострујном заштитом, те је из тог разлога струја ограничена на 1,4 A), а зеленом бојом задата вредност струје путем микроконтролера.

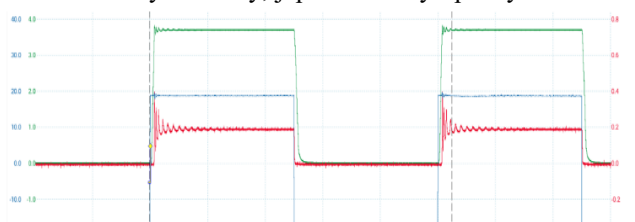
5. ОПИС РЕАЛИЗОВАНОГ СИСТЕМА

Главна компонента којом управљамо у систему је МОСФЕТ, па нам стабилност целог система зависи од његових могућности. Мана оваквих МОСФЕТ-ова је што поседују велику капацитивност, којом се споро управља, односно време затварања канала је доста велико. На карактеристици поларисања гејта се може уочити Милеров плато, који показује да постоји капацитивност између гејта и сорса, те да је потребно прво капацитивност напунити како би се омогућио даљи рад МОСФЕТ-а и због тога долази до споријег реаговања на побуду.



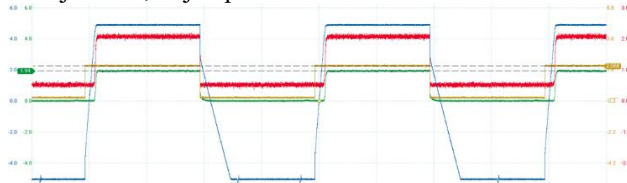
Слика 5.1 Карактеристика поларисања Гејта и Милеров плато

Да бисмо добили реалан управљачки сигнал без осцилација, потребно нам је да МОСФЕТ буде најбржа компонента у систему, јер на његову брзину не можемо



Слика 5.2 Одзив система на степ побуду без филтра

да утичемо као на струјни сензор и операциони појачавач, чије брзине можемо смањити.



Слика 5.2 Одзив система на степ побуду са филтром 330 pF

Без филтарског кондензатора сензор има пропусни опсег од 120 kHz. Додавањем кондензатора пропусни опсег се заједно са шумом смањује, што је од великог значаја. На претходне две слике се може уочити утицај без кондензатора и са кондензатором од 330 pF. У наредној табели су приказане вредности струје и напона на сваком МОСФЕТ-у у каналу појединачно. Јасно се може видети да сва 4 МОСФЕТ-а прилично једнако деле струју и да дужина вода од ДУТ-а до МОСФЕТ-а нема утицај након подешавања офсета

Табела 5.1 Резултати мерења детаљно, до 10.5 A

		1.0mA	1.500mA [V]	1.00.65A [V]	1.00.65A [V]	1.00.65A [V]	1.00.65A [V]	1.00.65A [V]	1.00.65A [V]
fet 1	ACS		0.5287	0.7152	0.9191	1.3153	1.5188	2.5262	
	SHUNT		0.0012	0.0125	0.025	0.0492	0.0617	0.1235	
	INA310		0.0248	0.2524	0.501	0.9845	1.2328	2.4833	
fet 2	ACS		0.5225	0.709	0.9123	1.3079	1.5113	2.5171	
	SHUNT		0.0011	0.0126	0.0253	0.0497	0.0623	0.1248	
	INA310		0.0235	0.2521	0.5015	0.9876	1.2373	2.4734	
fet 3	ACS		0.5244	0.7113	0.9149	1.3112	1.5149	2.5223	
	SHUNT		0.0011	0.0127	0.0253	0.05	0.0626	0.1253	
	INA310		0.0226	0.2519	0.5022	0.9892	1.239	2.4783	
fet 4	ACS		0.5256	0.7124	0.9158	1.3115	1.5147	2.5208	
	SHUNT		0.0012	0.0127	0.0255	0.0502	0.0629	0.1259	
	INA310		0.0241	0.2544	0.5071	0.9971	1.2489	2.4962	

струје за сваки канал.

Приказана су мерења на струјном сензору „ACS“, шант отпорнику и струјном сензору ИНА310 који мери пад напона на отпорнику и враћа вредност у микроконтролер.

6. ЗАКЉУЧАК

Уређај је пројектован тако да испуњава све тражене спецификације. Иако је замишљено да се користи само шант отпорник за мерење струје, њему је приступљено на други начин, употребом струјног сензора.

Када је реч о унапређењу уређаја, остављена је могућност писања софтвера за екран, како би се омогућила једноставнија комуникација са корисником, као и читавање мерених вредности на самом екрану, без употребе додатне опреме, попут осцилоскопа и струјних сонди.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] МОСФЕТ: <https://www.electronicshub.org/mosfet/>
- [2] Холлов ефекат: <https://www.automatika.rs/baza-znanja/senzori/holov-senzor.html>
- [3] Хистерезис: <http://www.labbookpages.co.uk/electronics/resNetworks/comparator.html>
- [4] др Жељко Деспотовић - Мосфет као прекидач снаге

Кратка биографија:

Дарко Бабијановић рођен 24. 5. 1999. године у Новом Саду, где је завршио основну школу и средњу електротехничку. Школовање је наставио на Факултету техничких наука, где је и дипломирао на смеру мехатроника 2022. године. Након завршених ОАС, уписује и 2024. године завршава мастер студије.

УПРАВЉАЊЕ РАДОМ У ПОЈЕДИНИМ ДЕЛОВИМА ХОТЕЛСКОГ ОБЈЕКТА**WORK MANAGEMENT IN CERTAIN PARTS OF THE HOTEL FACILITY**Срђан Стевановић, Гордана Остојић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – МЕХАТРОНИКА**

Кратак садржај – У овом раду је приказана примена решења из области аутоматизације. Где је фокус на компнетима које се користе у индустријској аутоматизацији, могу да се користе у неиндустријској аутоматизацији. Престављен је главни елемент функционисања у области аутоматике, а то је комуникација и подешавање елемената комуникације и избор компоненти система. У једном делу рада се говори и о важности присутности тренутне технологије на тржишту и како она може да утиче на сам процес развоја пројекта и како неке апликације могу да заврше када се на тржишту појави одговарајућа технологија.

Кључне речи: аутоматизација, комуникација, технологија

Abstract – This paper presents the application of automation of solutions. Where there is a focus on components, that are used in industrial automation can be used in non-industrial automation. The basic element of functioning in the field of automation is shown, that is, communication and setting of communication elements and selection of system components.

Keywords: automation, communication, technology

1. УВОД

Убрзаним технолошким развојем, развојем различитих технологија и међусобном имплементацијом данас кориснику можемо понудимо различита решења за његове проблеме. Од управљањем системом преко једног рачунара, тач-панела или помоћу мобилних апликација. Системи који се користе у аутоматизације индустрије, могу да се примене у неиндустријској аутоматизацији. Један од циљева овог мастер рада јесте да покаже како технологије које се користе у индустрији, могу да се примене у неиндустријској аутоматизацији, односно у неиндустријској средини. И да покаже како је комуникација између више уређаја, један од главних фактора важна за успешну аутоматизацију система и ако њени параметри нису добро подешени долазимо до питања успешности самог система и поузданости.

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чије ментор је био др Гордана Остојић, ред. проф.

Сам развојни пут једног инжињера кроз пројекат и како смо ограничени са тренутним знањем и искуством. Али како кроз упрност и решавање проблема постајемо бољи инжињери. Али ни ми нисмо знали да том технологијом која је присутна на тржишту нећемо моћи да изгурам те захтеве, то јест да смо искористили максималне капацитете присутне технологије.

2. ПРОЦЕС РАЗВОЈА

На основу техничке документације [1] за пројекат издат од стране инвеститора, урађена је аутоматизација хотела. Систем аутоматизације је решен помоћу једног ПЛК-а и три тач-панела.

Аутоматизација се састоји од следећих целина:

1. Климатизација комора
 2. Топлотне пумпе
 3. Експлоатационог бунара
 4. спа центра
 5. Технике базена
 6. Котларнице
 7. Система соларних колектора са акумулационим бојлерима
- Све те целине су повезане на следеће електро ормане:
1. Главни разводни кабинет (ГРО-ТЕХ)
 2. Електро орман прикључака топлотне пумпе
 3. Електро орман напајања потрошача котларнице
 4. Електро орман напајања спа центра
 5. Електро орман напајања потрошача базена
 6. ЕМП електро ормани клима комора
 7. Главни електро орман аутоматизације – термотехничке инсталације

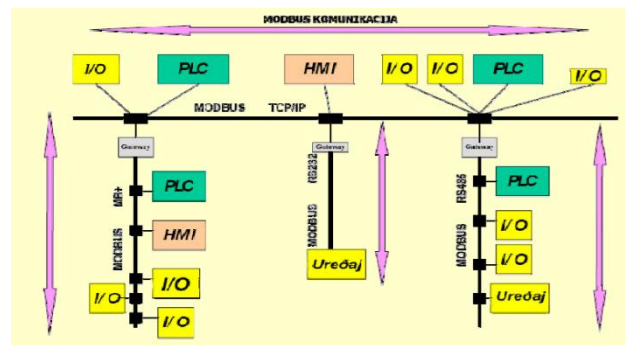
2.1 Хардверска конфигурација система

Систем се састоји од ПЛК-а и три од НМІ. Панели се налазе на три различите локације, Имамо два ИС панела које смо поставили на рецепцији хотела и на рецепцији спа центра, они су директно повезани на телевизоре због бољег мониторинга и праћења стања. Трећи панел који је IP серије се налази на орману аутоматике да би сервисеру или оператеру који ради на одржавању и управљању система омогућили бржи и лакши приступ када дође до отказа неких елемената у орману и да може лакше да их тестира. Конфигурација комуникације између ПЛК-а и панела је заснована мастер-славе комуникацији где је ПЛК-е мастер, а панели су славе уређаји. ПЛК-е прикупља и шаље

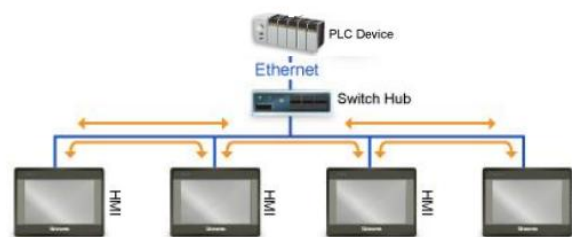
податке ка клима-коморама које нису домет наше аутоматизације, нама је омогућено да унесмо само одређене податке да би оператер могао лакше да управља целим системом. Овде је присутна конфигурација мастер-славе, где је ПЛК мастер, а славе уређаји су клима коморе. Постоји могућност да се подеси да комуникација између сва три панела да могу међусобно да размењују податке. Комуникација је омогућена помоћу MODBUS TCP/IP и MODBUS RTU протокола. Комплетна сигнализација свих стања и екстерно (даљинско) укључење свих потрошача, извршава се са централног ормана аутоматике "+RO-A-ТЕН", у коме се налази мастер програмибилни логички контролер који је намењен за аквизицију података, архивирање свих алармних стања термотехничке опреме. Све кабловске везе статуса (DI), извршних команди укључења (DO), аналогни сигнали. IN/OUT и RTD сензора су дате вишежилним кабловским водовима LiHCH. У систему нужног искључења фигурише један стоп тастер. Стоп тастер се налази на спа рецепцији. Његовом активацијом потребно је екстерним сигналом онемогућити напајање свих потрошача електромоторног погона.

3. КОМУНИКАЦИЈА

MODBUS је протокол за пренос података, развијен 1979. године од стране америчке компаније Gould – Modicon. MODBUS протокол [2] подржава асинхрони метод преноса података. Овај протокол омогућава остварење комуникације како преко серијске, и ethernet TCP/IP мреже, тако и преко MODBUS Plus (MB+) мреже која подржава методу предаје жетона (token passing). Уколико се користе различити мрежни системи, односно начини повезивања, потребно је користити gateway уређаје који ће омогућити њихово повезивање у јединствени мрежни систем са MODBUS протокол. Комуникација, између уређаја, одвија се у зависности од мастер/славе, у облику: захтев/инструкција/одговор. Мастер уређај (нпр. ПЛК или PC) који идентификује славе уређаје према њиховим адресама, управља процесом преноса података. MODBUS протокол подразумева мастер/славе процедуру приступа мрежи. Мастер/славе тип система подразумева постојање једног уређаја (мастер) који шаље наредбе једном од славе уређаја и обрађује одговор тог истог уређаја. Славе уређај може да шаље податак само уколико добије захтев од мастер уређаја и није у могућности да комуницира са другим славе уређајима на мрежи. На следећој слици 1. дат је пример архитектуре MODBUS мреже, а на слици 2. дат је пример како смо ми реализовали комуникацију. Са слике 3. можемо да видимо како се повезују три панела и један ПЛК. Имамо један локални панел који се повезује директно на ПЛК, а остале два панела подесимо као remote device, и онда они међусобно комуницирају и прикупљају податке један од другог.



Слика 1. Пример архитектуре MODBUS мреже

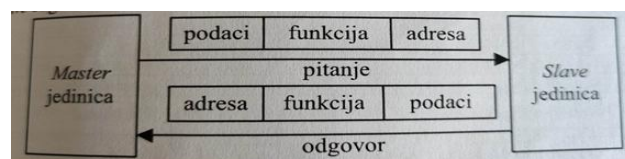


Слика 2. Пример архитектуре MODBUS мреже

	Name	Location	Device Type	Interface
Local HMI	OP_rec1	Local	cMT-FHDX-220 (1366 x 768)	-
Local Device 4	PM554_PLC	Local	ABB ACS500	Ethernet
Remote HMI 1	OP_IP	Remote (IP:192.168.88.101, Port=502)	HMI	Ethernet
Remote HMI 2	OP_vb	Remote (IP:192.168.88.131, Port=502)	HMI	Ethernet

Слика 3. Пример повезивања тач-панела и ПЛК-а

MODBUS протокол припада протоколима вишег реда. За њих је карактеристично да дефинишу конфигурацију мреже и структуру телеграма који се користи за размену информација између мастер и славе уређаја. Телеграм је скуп бајтова од којих сваки има одговарајуће значење дефинисано протоколом. Примери телеграма за мастер питање и славе одговор су дати на слици 4.



Слика 4. Типична структура главних питања и одговора робова

Мастер иницира размену пренос телеграмом који има три поља: 1. Адреса славе уређаја која дефинише ком славе уређају се мастер обраћа, 2. Функција која дефинише шта тај славе уређај треба да ради, 3. Подаци који требају славе уређају да ту функцију изврши.

Прозвани славе одговара сличним телеграмом: 1. Адреса славе уређаја као потврда је баш прозвани славе уређај добио телеграм, 2. Функција да се зна коју је функцију тај славе извршио, 3. Подаци које славе шаље мастер уређају ако је то од њега затражено.

3.1 Структура MODBUS система [3]

MODBUS структура подразумева један мастер и више славе уређаја на једној истој линији везе. Линију у потпуности контролише мастер тако што се по потреби обраћа појединим славе уређајима. Уколико мастер хоће да прочита стање неког славе уређаја он на линију шаље поруку са његовом адресом. Прозвани славе препознаје своју адресу и даљом анализом остатка поруке сазнаје шта се од њега тражи, коју MODBUS функцију он треба да изврши. Уколико мастер хоће да чита неко стање или неки улаз, прозвани славе у одговору шаље тренутну вредност тог стања или улаза. По потреби, одговор може бити и проста потврда пријема. Нпр. ако мастер жели да отвори неки вентил, њему је као одговор довољна потврда да је порука стигла до славе уређаја који контролише вентил, и да је та функција успешно извршена, тј. да је вентил успешно отворен.

3.2 Проблеми са комуникацијом

Софтвер за овај систем је написан на ПЛК AC500 PM554-ETH који спада у еко серију V2 ПЛК.

Његове карактеристике биће описане у наредном поглављу. Приликом првог спуштања софтвера и тестирања на самом терену који се десио у октобру 2021 године (У том тренутку постоји верзија V2 софтвера и ПЛК-а АВВ), где је тестиран рад комуникације између сва три НМІ и ПЛК и клима комора и аналајзера. Долазимо до закључка да је комуникација преоптерећена на MODBUS TCP/IP протоколу и да имамо проблем са разменом података који су типа float, односно имамо проблем са подацима који имају покретни зарез, и да имамо проблем са читањем и уписом података у клима-коморе. Главни проблем који смо имали са читањем и уписом података у клима коморе лежи у томе што од друге фирме која је уграђивала клима-компе нисмо добили адекватне MODBUS адресе (везано за holding, input и state регистре). Float подаци треба да се размењу између ПЛК и било којег панела, типичан пример тог податка јесте температура или неки податак везану за управљање којом брзином ће да се издувава или увлачи ваздух преко клима-комора. Преоптерећење на комуникацији се јавила зато што је дошло до прекорачења блокова за комуникацију који могу да користе исто време исто физички ниво за комуникацију са различитим уређајима, и онда је дошло до губљења података и на тај начин нисмо били у могућности да добијемо стабилан и поуздан систем. И искористили смо максималне могуће ресурсе тог ПЛК-а, где смо га преоптеретили и његова брзина одзива и завршетак трајања његове петље је успорен. У том тренутку нисмо имали други ПЛК и а доступна је била технологија из V2 серије. Зато смо били приморани да неке функционалности у том тренутку занемаримо које су биле неопходне за систем, онда

смо сели са корисником и поричали шта је њему важно да ради у том тренутку. И онда смо успели да оспособимо размену података са панелима, где кориснику било важно да може да управља базенском техником и да има мониторинг за топлотне пумпе и солар и да прати стање система мреже односно струје и потрошње везано за базенску технику и бунара за водоснабдевање. Касније смо установили да смо прекорачили саме ресурсе ПЛК те верзије коју смо користили у том тренутку. Након 6 месеци је изашла новија верзија ПЛК V3 на којој су побољшани недостаци са V2, али повећани њени ресурси и податке која она може да обради.

3.3 Решење са комуникацијом

Прво се покушао решити проблем везано за пренос података везано за float и везано за преоптерећење у комуникацији. За float пренос преко V2 верзије користили смо покретни зарез и нижи и виши бајт. Подаци који су типа float у себи садрже 32 бајта, онда смо float поделили на два worda и они садрже по 16 бајта, и пошто смо га поделили на нижи и виши бајт затим смо поделили те wordove на битове и за сваки знамо тачну позицију и онда смо преко одговарајуће формуле успели да добијемо податак типа float. Онда смо могли да шаљемо директно податке ка клима комори у том облику. Преоптерећење које се јавља приликом комуникације решили смо једноставним уланчавањем блокова за комуникацију, где смо направили и посебну индентификацију за комуникацију за клима-коморама и за сваки НМІ. На основу индентификације која је направљена омогућено је ПЛК да зна са којим уређајем комуницира. Поједноставили смо комуникацију где само у једном циклусу извршења програма омогућили да чита или уписује податке у одговарајући уређај. На тај начин смо повећали брзину и одзив целог система и добили поузданије податке за употребу у целом систему. То смо успрели све да решимо али због ограничених ресурса које смо имали на V2, морали смо да се окренемо V3. У V3 је било софтверски решено читање и упис float подаци, и на тај начин, ова врста података није морала да се подвргне додатној обради података. Суштина проблема везана за клима-коморе и њен мониторинг односи се на бит податке, имамо проблем када у истом тренутку добијемо бит податак са две клима коморе или панела који се уписују на исту адресу у ПЛК. То је решено тако што је уведен одговарајући fleg који нам је говорио шта ко уписује и да ови други не могу да уписују различиту вредност од оне вредности ако је упутио неки од панела, на пример сада је вредност нула на клима-комори и она се приказује на сваком панелу као 0. Кад неко жели да промени ту вредност на неком од панела у 1, чим се деси промена активира се одговарајући флег, и он блокира остале панеле да уписују 0 и 1 се директно

уписује у клима-комору и онда се врши упис у остале НМИ 1 и на тај начин смо избегли да се изврши колизија података и омогућили мониторинг целог система са тачним и реалним вредностима. Податке које нисмо успели да упишемо или прочитамо са клима-комора, решили смо методом случајног избора где смо, померали адресе података напред, назад или куцали тачну адресу коју смо добили, зато што су у неким клима-коморама биле померене адресе за један напред или назад. Захваљући тој методи и нашој упорности да решимо тај проблем успели смо да добијемо један стабилан и сигуран систем за управљање.

4. Програмабилни логички контролер

Програмабилни логички контролер је стандардни уређај у привреди који се користи за обезбеђивање контроле над процесима. ПЛК технологија омогућава аутоматску контролу над процесима користећи електричну и рачунарску технологију. Програмабилни логички контролер је посебно дизајниран рачунарски уређај намењен за рад у индустрији. Направљени су да буду отпорни и да издрже тешка индустријска окружења.

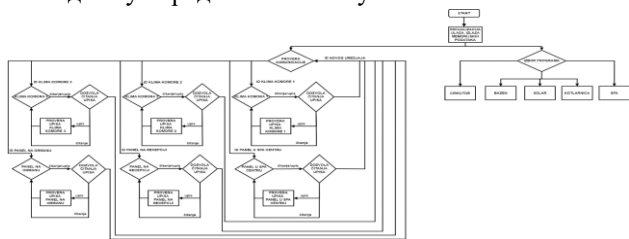
Да би ПЛК контролисао процес, потребно је прикупљати информације из процеса и на основу њих остварити жељено динамичко понашање система. Прикупљање информација се врши преко сензора, а жељено деловање се остварује преко актуатора.

5. Хардверска и софтверска конфигурација АВВ ПЛК

Automatin Bulider је софтверски програм компаније АВВ за писање програма и хардверско конфигурисање њихових програбилних логичких контролера. Свака компанија која се бави ПЛК-ова има своје радно окружење у којем се пише програм за ПЛК и конфигурише хардвер.

5.2 Алгоритам ПЛК-а

На слици 7. је дат алгоритам ПЛК-а, када се старује програм врши се иницијализација улаза, излаза и меморисјких података. Имамо два дела један се састоји од комуникације са другим уређајима који прикупља податке и избора програма, где не зависно од циклуса у ком се налази комуникација паралелно може да се извршава било који од програма везано за базен, црикутор, котларницу, спа. Описи тих програма биће дати у наредном поглављу.



Слика 7. Алгоритам ПЛК-а

6. Интрефејс човек-машина

Интерфејс човек-машина у аутоматизацији је интерфејс који омогућава људима (оператерима) да комуницирају са машинама, системима или уређајима. То је средство преко којег оператери могу да надгледају, контролишу и управљају процесима у индустријским постројењима, производним линијама, и другим аутоматизованим системима.

Главне функције НМИ-а укључују:

1. Визуелизација података
2. Управљање процесима.
3. Праћење система
4. Сигурност
7. Закључак

Циљ овог мастер рада као што је речено у уводу јесте да прикаже примену уређаја који се користе у индустрији од ПЛК, тач -панела, клима комора, аналајзера, вентила, слоарних панела, пумпи и различитих сензора у неиндустријској аутоматизацији. И да прикаже важност комуникације између уређаја и како развој технологије може да утиче на развој одређеног пројекта. Кроз овај мастер рад може да се види како је комуникација важна и један развојни пут инжињера ка проналажењу решења. Где инжињер са тренутним ресурсима треба да пронађе адекватно решење за тај проблем који се јавља. Овде можемо да уочимо где теорија каже да MODBUS TCP/IP може да комуницира са 248 уређаја. Успели смо да повећамо капацитете ове комуникације са 254 уређаја у оквиру једног опсега IP адреса где је n регистар. На овај начин можемо да приступимо једном регистру у оквиру уређаја или низу регистара. Чиме смо повећали одзив у комуникације између два уређаја где имамо моментално промену стања тог регистра или моментални приказ на панелу. Што је за ове системе чак и веома брзо. Ово решење може да се примени и на другим системима или пројектима.

8. Литература

- [1] Пројекат за извођење -електромоторни погон и централни систем надзора и управљања (з.р. "зб-електро").
- [2] [Wikipedia, Modbus](https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus) (<https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus>)
- [3] Дарко Марчетић, Марко Гецић, Борис Марчетић, „Програмабилни логички контролери и комуникациони протоколи у електроенергетици,“ ФТН издаваштво, Нови Сад 2016 .

Кратка биографија:

Срђан Стевановић рођен у Краљеву 1996. год. Дипломирао је 2019. год. на Факултету техничких наука, смер Мехатроника, роботика и аутоматизација, на којем је исте године уписао мастер студије.



UDK: 7.52

DOI: <https://doi.org/10.24867/311H03Stevanovic>

RAZVOJ GEOPORTALA ZA PRIJAVU ŠTETE NAKON VREMENSKIH NEPOGODA DEVELOPMENT OF A GEOPORTAL FOR DAMAGE REPORTING AFTER WEATHER HAZARDS

Aleksandar Lang, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu je prikazan razvoj geoportala za prijavu štete nakon vremenskih nepogoda. Angular komponente omogućavaju prikaz tabela i interakciju sa bazom podataka putem REST servisa za preuzimanje, prikaz i izmenu podataka u PostGIS bazi. OpenLayers biblioteka je korišćena za vizuelizaciju prostornih podataka na mapi, pružajući korisnicima mogućnost interakcije sa mapom i pristup detaljnim informacijama o parcelama i objektima.

Ključne reči: Prostorni podaci, PostGIS, GeoServer, REST, Angular, OpenLayers, Geoportal

Abstract – This paper presents the development of a geoportal for damage reporting following weather hazards. Angular components allow the display of tables and interaction with the database via REST services for retrieving, displaying, and modifying data in the PostGIS database. The OpenLayers library was used for visualizing spatial data on the map, providing users with the ability to interact with the map and access detailed information about parcels and objects.

Keywords: Spatial data, PostGIS, GeoServer, REST, Angular, OpenLayers, Geoportal

1. UVOD

U današnjem svetu, koji se sve više oslanja na digitalne tehnologije, prostorno zasnovani podaci postaju ključni u raznim sektorima kao što su urbano planiranje, upravljanje prirodnim resursima, transport i turizam. Pored geografskih lokacija, ovi podaci sadrže brojne dodatne attribute koji pružaju vredne uvide za donošenje odluka i analizu prostora. Ovaj rad ima za cilj da predstavi implementaciju geoportala sa troslojnom arhitekturom u Angular okruženju, koristeći OpenLayers biblioteku. Geoportal olakšava prijavu štete nakon vremenskih nepogoda i ubrzava proces terenskog uvida od strane komisije za procenu štete.

2. VIZUELIZACIJA GEOPROSTORNIH PODATAKA I GEOPORTAL

Geoprostorni podaci su informacije povezane sa specifičnim geografskim lokacijama na Zemlji. Vizuelizacija tih podataka kroz karte i geoinformacione sisteme olakšava razumevanje prostornih obrazaca i

odnosa, igrajući ključnu ulogu u analizi i donošenju odluka u nauci i industriji [1]. Geografski informacioni sistem (GIS) omogućava upravljanje i analizu prostornih podataka, pružajući korisnicima interaktivne alate za pretragu i prikaz podataka. GIS, kao "pametne karte", omogućava analizu i prilagođavanje informacija. Geoportali olakšavaju pristup i manipulaciju prostornim podacima, povećavajući njihovu dostupnost [2].

Rasterski podaci predstavljaju prostorne informacije u obliku matrice ćelija (pikseli), često korišćeni za prikaz kontinuiranih pojava kao što su temperatura i visina, ili skenirane mape i satelitske snimke [3].

Vektorski podaci koriste tačke, linije i poligone za prikazivanje objekata u prostoru, kao što su putevi, zgrade i granice, omogućavajući preciznu analizu prostornog odnosa između entiteta [4].

Hibridni podaci kombinuju raster i vektor podatke u jedinstvenom sistemu, omogućavajući složene vizualizacije i analize [5].

3D podaci omogućavaju stvarni prikaz prostora, koristeći se u oblastima kao što su arhitektura i urbanizam za složene analize i simulacije [6].

3. TEHNOLOGIJE I STANDARDI

3.1 Standardi

Standardi definišu pravila i smernice koje osiguravaju interoperabilnost između različitih sistema. Glavne organizacije koje postavljaju standarde za prostorne podatke su sledeće.

3.1.1 INSPIRE

Direktiva Evropske unije koja omogućava standardizovan pristup prostornim podacima radi podrške ekološkim i drugim politikama koje utiču na životnu sredinu [7].

3.1.2 Open Geospatial Consortium

Open Geospatial Consortium (OGC) predstavlja međunarodno udruženje za otvorenost prostornih podataka, koje čine više od 340 kompanija, vladinih agencija i univerziteta, s ciljem kreiranja standarda za razmenu prostornih podataka. Neki od najpoznatijih OGC standarda uključuju:

Web Map Service (WMS) – Omogućava razmenu mapa putem interneta, generisanjem rasterskih mapa koje klijenti mogu zahtevati u realnom vremenu preko HTTP protokola [8].

Web Feature Service (WFS) – Omogućava pristup i razmenu vektorskih podataka, pružajući korisnicima

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miro Govedarica, red. prof.

moćnost pretraživanja, modifikacije i manipulacije prostornim entitetima.

Web Coverage Service (WCS) – Fokusira se na razmenu rasterskih podataka, omogućavajući korisnicima pristup sirovim podacima o prostornim fenomenima kao što su temperatura i visina, što je značajno za primene u meteorologiji i klimatologiji [8].

3.1.3 ISO

International Organisation for Standardization (ISO): ISO 19100 serija pruža okvire za organizaciju, razmenu i upravljanje geografskim podacima, sa fokusom na kvalitet i interoperabilnost podataka [9].

3.2 Tehnologije

Troslojna SOA arhitektura deli sistem na tri sloja: sloj podataka, servisni sloj i korisnički sloj. Svaki sloj ima jasno definisanu funkciju, gde sloj podataka upravlja bazama, servisni sloj posreduje između korisničkog interfejsa i podataka, a korisnički sloj omogućava interakciju sa korisnicima putem interfejsa [10].



Slika 1. Šema troslojne arhitekture

3.2.1 Sloj podataka

Za sloj podataka korišćena je PostgreSQL baza sa PostGIS ekstenzijom, što omogućava manipulaciju prostornim podacima. PostgreSQL je besplatni *open-source* sistem za upravljanje bazama podataka (SUBP), koji podržava i prostorne tipove podataka, kao što su tačke, linije i poligoni. PostGIS dodaje mogućnost skladištenja i upravljanja geometrijskim objektima u skladu sa OGC standardima, uključujući funkcije za konverziju podataka u formate kao što su GeoJSON i WKT [11].

3.2.2 Aplikacioni sloj

Za implementaciju aplikacionog sloja korišćen je Spring Boot, koji je omogućio izradu REST servisa. Ovi servisi omogućavaju klijentima da šalju zahteve, a server vraća odgovarajuće podatke u formatu JSON ili XML. Pored toga, *Java Persistence API (JPA)* je korišćen za objektno-relaciono mapiranje, što omogućava laku manipulaciju podacima u PostgreSQL bazi. GeoServer, open-source server za razmenu geoprostornih podataka, koristi se za vizuelizaciju prostornih informacija na mapi [12].

3.2.3 Prezentacioni sloj

Prezentacioni sloj je kreiran korišćenjem *HyperText Markup Language (HTML)* i *Cascading Style Sheets (CSS)*, koji obezbeđuju strukturu i izgled web stranica.

HTML je korišćen za označavanje osnovnih elemenata stranice, dok je CSS primenjen za stilizaciju tih elemenata, što omogućava fleksibilan i pristupačan dizajn. Pored toga, JavaScript je korišćen za dodavanje dinamičnosti stranici, dok je TypeScript uveden radi lakše organizacije i održavanja koda. Angular okvir je korišćen za razvoj jednostraničnih aplikacija (SPA), omogućavajući korisnicima interaktivnu vizualizaciju prostornih podataka [13].

4. GEOPORTALI U OBLASTI

4.1 Primeri u Evropi

Poglavlje analizira postojeće evropske portale koji se bave upravljanjem rizicima od katastrofa. Fokus je na tehnologijama i arhitekturama koje omogućavaju razmenu podataka i podršku u donošenju odluka.

4.1.1 Risk Data Hub

Risk Data Hub (RDH) integriše evropske i nacionalne baze podataka o rizicima, pružajući korisnicima alate za analizu i vizualizaciju prostornih podataka. Ova platforma podržava donosioca odluka i istraživače u proceni rizika, koristeći troslojnu arhitekturu za upravljanje, analizu i prezentaciju podataka [14].

4.1.2 European Flood Awareness System

European Flood Awareness System (EFAS) je sistem za rano upozoravanje na poplave, koji koristi podatke iz meteoroloških modela i satelita. Prognoze su integrisane sa podacima o vodostajima, što omogućava precizne informacije za upravljanje rizikom od poplava u Evropi [15].

4.1.3 Copernicus Emergency Management Service

Copernicus Emergency Management Service (CEMS) je deo programa *Copernicus*, koji pruža satelitske i druge podatke za upravljanje vanrednim situacijama. Omogućava brz pristup podacima o prirodnim katastrofama i podržava donošenje odluka na lokalnom i međunarodnom nivou.

4.2 Primeri u Republici Srbiji

4.2.1 GeoSrbija – registar rizika od katastrofa

GeoSrbija je sistem za upravljanje geoprostornim podacima, koji omogućava razmenu podataka između različitih institucija. Registar rizika od katastrofa obuhvata podatke o poplavama, klizištima i požarima, koji se koriste za planiranje i upravljanje rizicima na nacionalnom nivou [16].

5. METODOLOGIJA IZRADE GEOPORTALA

5.1 Zahtevi i ciljevi sistema

Cilj geoportala je da pojednostavi i ubrza proces podnošenja zahteva za procenu štete od vremenskih nepogoda, omogućavajući korisnicima da identifikuju svoje parcele i podnesu prijave elektronskim putem.

5.2 Odabir tehnologija

Za razvoj sistema koriste se Angular za frontend, Spring Boot za backend, PostGIS za skladištenje prostornih podataka, GeoServer za publikaciju podataka i OpenLayers za vizualizaciju.

5.3 Modeliranje podataka

Podaci su organizovani kroz SQL tabele za parcele i objekte, uključujući geometrijske i atributne podatke.

REST API omogućava komunikaciju između Angular frontend-a i PostGIS baze putem Spring Boot-a.

5.4 Integracija sa GeoServer-om

GeoServer je korišćen za publikaciju slojeva parcela i objekata, dok Styled Layer Descriptor definiše vizuelni prikaz. *GetFeatureInfo* funkcija omogućava prikaz informacija o slojevima klikom na mapu.

5.5 Razvoj korisničkog interfejsa

Korisnički interfejs u Angular-u omogućava unos, pregled i pretragu podataka o parcelama. Vizualizacija je realizovana pomoću OpenLayers, gde je omogućen interaktivan pregled mapa.

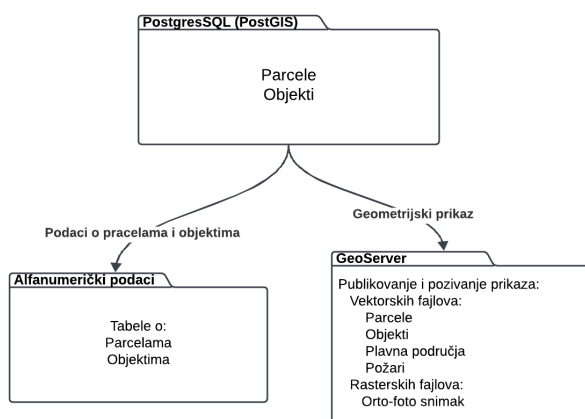
5.6 Testiranje i validacija

Testiranje obuhvata validaciju unosa podataka, prikaz prostornih podataka i integraciju između frontend-a i backend-a, kao i proveru performansi i tačnosti slojeva.

6. STUDIJA SLUČAJA – BEOČIN

6.1 UML dijagrami

UML dijagrami u ovom sistemu prikazuju strukturu podataka i komponente za prijavu štete (Slika 2). Sistem obuhvata prostorne objekte (parcele i objekte) i alfanumeričke podatke, koji su neophodni za procenu i praćenje štete. Prostorni objekti se grafički prikazuju, dok alfanumerički podaci omogućavaju unos informacija o vlasnicima, vrsti štete i drugim relevantnim podacima. Ovaj pristup omogućava jednostavno upravljanje podacima u sistemu i efikasno donošenje odluka [42].



Slika 2. Dijagram strukture podataka

6.2 Opis sistema – način realizacije i funkcionalnosti aplikacije

6.2.1 Implementacija sloja podataka

Prostorni podaci u vektorskom (.shp) i raster formatu (.tiff) prvo su učitani u QGIS kako bi se proverilo da li su podaci u istom koordinatnom sistemu. Ukoliko postoje razlike u koordinatnim sistemima, koristi se GDAL alat za transformaciju podataka u odgovarajući sistem. *Warp (reproject)* algoritam u QGIS-u omogućava automatizovanu transformaciju podataka, čime se obezbeđuje da svi slojevi budu usklađeni i spremni za dalju upotrebu u analizi.

Baza podataka je kreirana korišćenjem pgAdmin 4 uz PostGIS ekstenziju, koja omogućava rad sa geoprostnim podacima. Podaci o parcelama i objektima se učitavaju u bazu iz QGIS-a, a novi atributi kao što su tip zemljišta,

vrsta štete, i kontakt informacije se dodaju putem SQL upita. Baza je strukturisana tako da podaci budu segmentisani po katastarskim opštinama, omogućavajući lakše upravljanje i obradu.

Nakon pokretanja GeoServer-a, pristupa mu se putem URL-a: <http://localhost:8080/geoserver/web/>, gde se kreira nova radna površina (*Workspace*) koja se povezuje sa prethodno uspostavljenom PostGIS bazom podataka.

Nakon publikacije prostornih slojeva, njihov vizuelni prikaz može biti prilagođen korišćenjem *Styled Layer Descriptor (SLD)* standarda, omogućavajući preciznu kontrolu nad stilizacijom podataka prema potrebama aplikacije.



Slika 3. Prikaz stilizovanih parcela

6.2.2 Implementacija serverske strane (back-end) aplikacije

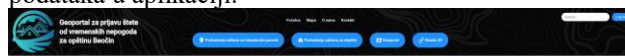
Serverski deo aplikacije koristi Spring Boot za komunikaciju sa bazom podataka i Angular interfejsom. Korišćenjem JPA, podaci se automatski čuvaju u bazu i izvlače preko REST servisa u JSON formatu (Slika 4). Ovo omogućava korisnicima pristup podacima o parcelama i objektima i njihovo ažuriranje u realnom vremenu.

```
{
  "id": 1,
  "kat_opst_1": "BEOČIN",
  "brparcela": "1468/2",
  "povrsina": "278",
  "tip_zemljista": null,
  "kultura_zemljista": null,
  "vrsta_stete": null,
  "ime": null,
  "prezime": null,
  "kontakt_telefon": null
},
```

Slika 4. Prikaz tabele "parcele_beo" u JSON formatu
Kontroleri u Spring Boot-u obrađuju HTTP zahteve i omogućavaju osnovne operacije kao što su unos, izmena i brisanje podataka. JPA repozitorijum obezbeđuje pristup podacima, omogućavajući fleksibilno upravljanje bazom i automatizovane upite bez potrebe za ručnim SQL kodom.

6.2.3 Implementacija prezentacionog sloja

U ovom poglavlju je opisana implementacija Angular komponenti koje upravljaju prikazima tabela i mapa na geportalu. Kroz *app.routing.module.ts* definisane su sve rute koje omogućavaju navigaciju i prikaz različitih podataka u aplikaciji.



Slika 5. Prikaz UI aplikacije

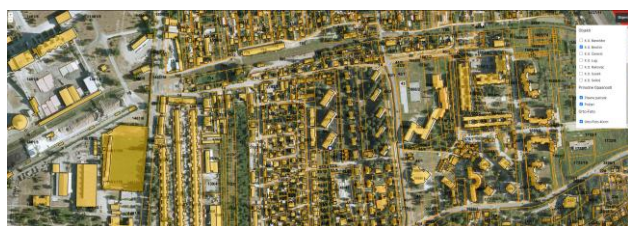
Angular komponente kao što su *ParceleBeoComponent* (Slika 6) i *ObjektiBeoComponent* obezbeđuju pregled i unos podataka u tabelarni oblik za parcele i objekte, podeljene prema katastarskim opštinama. Komunikacija sa backend-om ostvaruje se putem REST servisa (GET,

POST, PUT, DELETE), čime se omogućava unos, izmena i brisanje podataka iz PostGIS baze.

Parcela	Broj parcela	Prostorna površina	Tip zemljišta	Klasifikacija zemljišta	Opis objekta	Drugi podaci
1631/54	1631/54	275				
1631/55	1631/55	475				
1631/56	1631/56	312				
1631/57	1631/57	185				

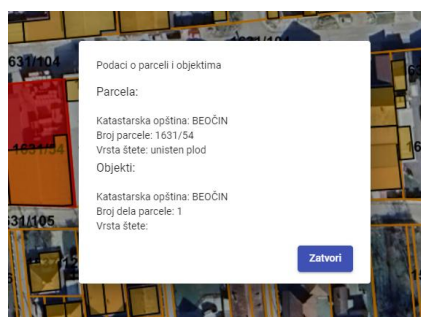
Slika 6. *Alfanumerički prikaz parcela*

Geoportal komponenta prikazuje prostorne podatke na mapi, omogućavajući korisnicima da biraju između različitih podloga (satelitski ili ortofoto snimak), kao i da uključuju i isključuju slojeve parcela i objekata po katastarskim opštinama. Pored toga, dostupne su opcije za prikaz slojeva prirodnih opasnosti poput poplava i požara.



Slika 7. *Geoportal komponenta*

Korišćenjem *GetFeatureInfo* funkcionalnosti, korisnicima je omogućeno da klikom na parcelu ili objekat dobiju detaljne informacije o katastarskoj opštini, broju parcele ili broju dela parcele kada je reč o objektima (Slika 8). Ukoliko je prijavljena šteta, ona se takođe prikazuje u okviru informacija o odabranoj parceli ili objektu, čime se pruža sveobuhvatan pregled stanja na terenu.



Slika 8. *Info komponenta*

Poslednja komponenta obuhvata 3D prikaz naselja Beočin u LoD 1 nivou, gde su objekti prikazani na *OpenStreetMap (OSM)* podlozi. Prikaz je realizovan korišćenjem *QGIS2Threejs* plugina, koji omogućava izvoz 3D modela iz QGIS-a u web pretraživač.



Slika 9. *3D Beočin*

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad pružio je detaljan uvid u implementaciju geoportala sa troslojnom arhitekturom, razvijenom u Angular okruženju koristeći OpenLayers biblioteku i PostGIS bazu podataka. Geoportal je osmišljen da olakša

korisnicima podnošenje zahteva za procenu štete nastale usled vremenskih nepogoda, dok istovremeno pomaže komisijama u efikasnijem planiranju terenskih obilazaka i analizi štete. Povezivanje prostornog i alfanumeričkog prikaza podataka omogućava brzo i precizno ažuriranje informacija.

Primena troslojne arhitekture omogućava jasno razdvajanje slojeva podataka, aplikacije i prezentacije, čime se postiže veća fleksibilnost i skalabilnost sistema. Korišćenje PostGIS baze omogućava prostornu analizu i vizualizaciju, dok Angular komponente omogućavaju unos, izmenu i pregled podataka, koji su sinhronizovani sa GeoServer-om.

Iako je aplikacija razvijena za područje opštine Beočin, njena primena je univerzalna i može se koristiti za slične situacije u različitim regijama. Dalje unapređenje sistema može uključivati proširenje funkcionalnosti za podršku dodatnim tipovima prostornih podataka i naprednim alatima za analizu.

8. LITERATURA

- [1] Borisov M. (2006), „Razvoj GIS“, Monografija
- [2] Borisov M, Nikolić G, Petrović V, Đur ović R, Sušić Z, „Primena GIS u sistemu praćenja životne sredine“
- [3] M. Neteler and H. Mitasova. A GRASS GIS Approach. Springer, New York, 2008.
- [4] ESRI Shapefile Technical Description
- [5] Open Source Geospatial Foundation.
<https://gdal.org/en/latest/> Online; Datum pristupa: 04.09.2024.
- [6] Igor Antolović, Miroslav Milivoj ević, Dejan Rančić , Vladan Mihajlović, “Modelovanje i vizuelizacija 3D objekata korišćenjem modularnih servisa”
- [7] euprava.gov.rs <https://euprava.gov.rs/eusluge/> Online; Datum pristupa: 07.09.2024.
- [8] OGC standards, <https://www.ogc.org/standards/> Online; Datum pristupa: 08.09.2024.
- [9] ISO-LINK <https://iso-standards.rs/standardi/> Online; Datum pristupa: 08.09.2024.
- [10] 3 Tier Architecture,
<https://www.ibm.com/topics/three-tier-architecture> Online; Datum pristupa: 08.09.2024.
- [11] PostgreSQL,
<https://en.wikipedia.org/wiki/PostgreSQL> Online; Datum pristupa: 06.09.2024.
- [12] John Cowan (2005), „RESTful Web Services “
- [13] HTML and CSS explained – WP workshop
- [14] Risk Data Hub
- [15] European Flood Awareness System – EFAS
- [16] GeoSrbija, <https://tmp.geosrbija.rs/o-nama/> Online; Datum pristupa: 14.09.2024.

Kratka biografija:



Aleksandar Lang rođen 1998. godine u Novom Sadu, završio srednju tehničku školu smer geodezija 2017. god. Iste godine upisuje Fakultet tehničkih nauka, smer geodezija i geomatika. Diplomirao je 2023. god. i iste upisuje master studije na istom smeru.

RAZVOJ GEOPORTALA ZEMLJIŠTA U ANGULAR OKRUŽENJU

DEVELOPMENT OF A LAND GEOPORTAL IN AN ANGULAR ENVIRONMENT

Stefan Nikolić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA

Kratak sadržaj – Rad se bavi razvojem geoportala za upravljanje parcelama i prostornim podacima, koristeći tehnologije poput Angulara za front end, Spring Boota za back end i PostgreSQL-a sa PostGIS ekstenzijom za prostorne podatke. Implementacija uključuje integraciju sa bibliotekama poput OpenLayers, što omogućava dalji razvoj i nove funkcionalnosti, poboljšavajući efikasnost u upravljanju zemljištem i urbanim planiranjem.

Ključne reči: PostGIS, Geoportal, Angular, SpringBoot, REST servisi, GeoServer, OpenLayers

Abstract – This paper focuses on the development of a geoportal for land parcel and spatial data management, using technologies like Angular for the front end, Spring Boot for the back end, and PostgreSQL with the PostGIS extension for spatial data. The implementation includes integration with libraries such as OpenLayers, enabling further development and new functionalities, improving efficiency in land management and urban planning.

Keywords: PostGIS, Geoportal, Angular, SpringBoot, REST services, GeoServer, OpenLayers

1. UVOD

Danas, gde se prostorne informacije postavljaju kao osnovni resurs za donošenje odluka, razvoj geoportala postaje sve važniji. Ovaj rad se fokusira na izradu geoportala za upravljanje parcelama i prostornim podacima, koristeći moderne tehnologije i pristupe. Geoportali omogućuju efikasan pristup, vizualizaciju i interakciju sa geoinformacijama, čime se olakšava rad različitim korisnicima, od građana do državnih institucija. Razvoj geoportala u ovom radu temelji se na troslojnoj arhitekturi, gde se koriste Angular za front end, Spring Boot za back end, kao i PostgreSQL bazu podataka sa PostGIS ekstenzijom za prostorne podatke. Kroz implementaciju ovih tehnologija, rad se bavi izazovima i rešenjima koja su neophodna za stvaranje funkcionalnog i interaktivnog alata za upravljanje parcelama.

2. GEOPROSTORNI PODACI

Geoprostorni podaci su podaci sa direktnom ili indirektnom vezom sa određenom lokacijom na Zemlji ili geografskom oblasti. Oni opisuju teritoriju i njene karakteristike upotrebom prostorno povezanih podataka kao što su koordinate, poštanske adrese, nazivi naselja i

slično. U svakodnevnom životu skoro svaka osoba redovno koristi geoinformacije [1].

3. GEOPORTALI

Uslov uspešnog korišćenja informacija i uopšte podataka o prostoru u današnje vreme podrazumeva njihovo raspolaganje u digitalnom obliku, pogodnom za dalju računarsku obradu i procesiranje. Međutim, prikupljanje i dolazak do digitalnih informacija je skupo, pa je to jedan od razloga zašto se još uvek nedovoljno koriste, posebno u zemljama u razvoju. Kroz mnoge projekte radi se na poboljšanju pristupa geoprostornim informacijama, promovisanju njihovog korišćenja i obezbeđivanju dodatnih sredstava za njihovo prikupljanje [2].

Geoportal je platforma za upravljanje, pretragu i analizu geoprostornih podataka. Geoportali igraju značajnu ulogu u vizualizaciji, odnosno predstavljanju geoprostornih podataka, čime obezbeđuju široku dostupnost i primenu. Kroz interaktivne mape, servise i alate za vizualizaciju, geoportali služe pri analizi podataka i donošenju bitnih odluka za širok spektar korisnika. Integracijom sa modernim tehnologijama za akviziciju podataka, kao što su GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), daljinska detekcija i LIDAR (*Light Detection and Ranging*) sistemima, geoportali nude ažuriran i detaljan prikaz Zemljine površine. Geoportali su našli primenu u raznim aplikacijama, naučnim istraživanjima, planiranju i upravljanju sistemima [3].

4. STANDARDI I TEHNOLOGIJE ZA IZRADU GEOPORTALA

Standardi su sažeta mudrost ljudi sa stručnim znanjem u svojoj oblasti i koji razumeju potrebe organizacija koje predstavljaju – ljudi poput proizvođača, prodavaca, kupaca, potrošača, trgovinskih udruženja, korisnika ili regulatora [4].

4.1 ISO 19100

International Organisation for Standardization (ISO) 19100 je serija standarda za definisanje, opisivanje i upravljanje geografskim informacijama. Standardizacija geografskih informacija najbolje se postiže setom standarda koji integrišu detaljan opis konceptata geografskih informacija sa konceptima informacionih tehnologija [5].

ISO 19152 (*LADM - Land Administration Domain Model*) pruža koncepte i detaljnu strukturu za standardizaciju u oblasti upravljanja zemljištem. Kako bi se postigli ciljevi javne politike, određeni propisi koriste geografske prostore

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Aleksandra Radulović, van. prof.

za propisivanje ili omogućavanje određenih ponašanja ili rezultata [6].

4.2 INSPIRE

Direktiva o infrastrukturi za prostorne informacije u Evropskoj zajednici (**INSPIRE**) ima za cilj da stvori infrastrukturu prostornih podataka Evropske unije za politike životne sredine i politike ili aktivnosti koje mogu imati uticaj na životnu sredinu [7].

4.3 Open Geospatial Consortium

Glavni zadatak **OGC** konzorcijuma je kreiranje otvorenih standarda koji omogućuju interoperabilnost i integraciju prostornih podataka, softvera za njihovu obradu i prostornih servisa.

Web Feature Service (WFS) – Omogućava pristup i razmenu vektorskih podataka, pružajući korisnicima mogućnost pretraživanja, modifikacije i manipulacije prostornim entitetima.

Web Map Service (WMS) – Omogućava razmenu mapa putem interneta, generisanjem rasterskih mapa koje klijenti mogu zahtevati u realnom vremenu preko HTTP protokola [8].

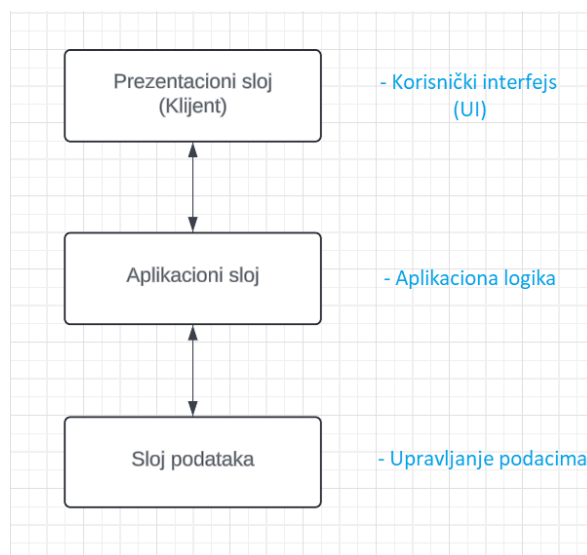
Web Coverage Service (WCS) – Fokusira se na razmenu rasterskih podataka, omogućavajući korisnicima pristup sirovim podacima o prostornim fenomenima kao što su temperatura i visina, što je značajno za primene u meteorologiji i klimatologiji [8].

4.4 Tehnologije

Servisno orijentisana arhitektura (SOA), ili arhitektura zasnovana na uslugama, definiše način kako učiniti softverske komponente ponovo upotrebljivim i interoperabilnim putem servisnih interfejsa. Usluge koriste

zajedničke standarde interfejsa i arhitektonske obrasce, kako bi se brzo integrisale u nove aplikacije [9].

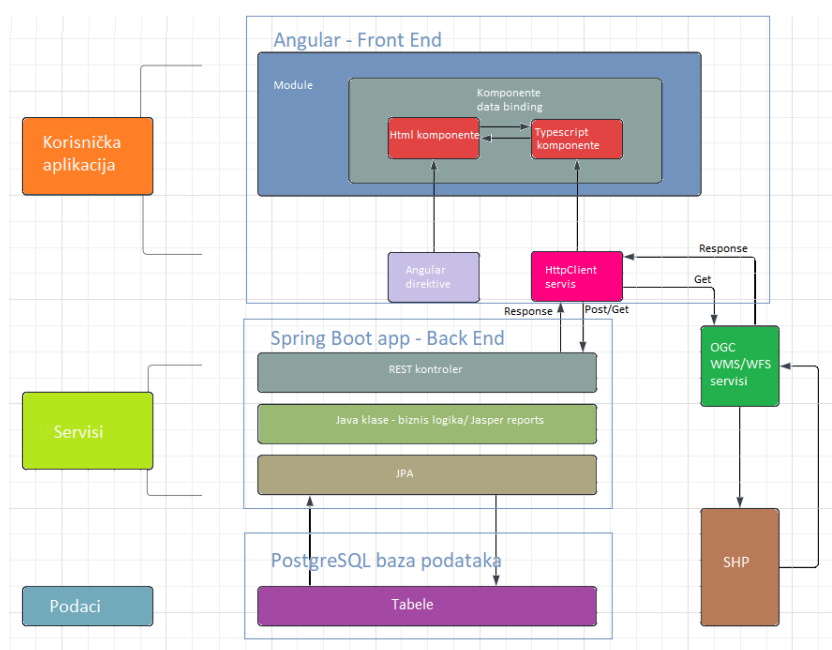
SOA deli sistem na tri sloja (slika 1): korisnički sloj, servisni sloj i sloj podataka. Dok sloj podataka upravlja bazama, servisni sloj posreduje između korisničkog interfejsa i podataka, a korisnički sloj pruža interakciju sa korisnicima putem interfejsa.



Slika 1. Troslojna arhitektura

5. RAZVOJ GEOPROSTORNIH APLIKACIJA

Razvoj geoprostornih web aplikacija (slika 2) postaje sve značajnija oblast u svetu web tehnologija, budući da omogućava korisnicima interakciju sa prostornim podacima putem web pregledača. Ove aplikacije koriste geografske informacione sisteme za vizualizaciju, analizu i manipulaciju podacima koji su povezani sa određenim lokacijama.



Slika 2. Arhitektura Web aplikacija

5.1 Front end razvoj

Kada govorimo o razvoju front end dela web aplikacija, važno je razumeti da se koristi niz alata koji olakšavaju i unapređuju proces izrade korisničkog interfejsa. Ovi alati omogućuju programerima da kreiraju dinamičke i interaktivne web stranice koje korisnicima pružaju kvalitetno iskustvo. Od osnovnih uređivača koda, preko biblioteka i okvira koji pomažu u strukturiranju koda, do alata za upravljanje verzijama i testiranje, svaka komponenta igra ključnu ulogu u razvoju modernih web aplikacija [10].

5.2 Back end razvoj

Back end razvoj aplikacija predstavlja sve procese koji se odvijaju na serveru i upravljaju podacima i logikom aplikacije. Ovaj deo razvoja je ključan za funkcionisanje web aplikacija jer obezbeđuje da se podaci pravilno obrađuju, skladište i šalju korisnicima putem front end interfejsa. Back end programeri koriste razne programske jezike i alate kako bi izgradili robusne i skalabilne sisteme koji mogu da podrže kompleksne operacije [10].

6. IZRADA GEOPORTALA

U praktičnom delu rada, kreirana je baza podataka koja sadrži informacije o zemljištu, objavljena na lokalnom GeoServer-u. Serverska strana aplikacije je implementirana u Spring Boot-u, dok je klijentska strana razvijena u Angular-u.

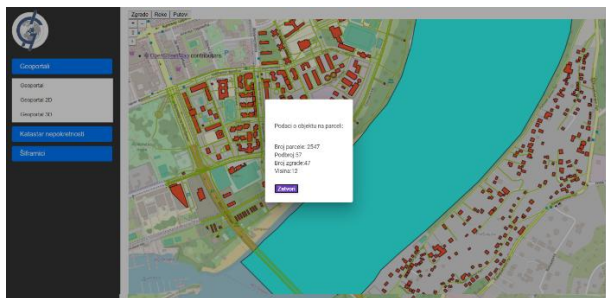
Geoportal se sastoji od nekoliko panela koji korisnicima omogućuju navigaciju kroz različite opcije i funkcionalnosti.

„Geoportal“ pruža korisnicima pretragu parcela po broju i podbroju. Prilikom uspešne pretrage, ispod mape se prosleđuju sve informacije o traženoj parceli (slika 3).



Slika 3. Geoportal za pretragu parcela

„Geoportal2D“ iznad mape uključuje dugmiće za selekciju slojeva objekata i puteva, i prilikom odabira nekog objekta pojavljuje se info dijalog koji pruža detaljnije informacije o njemu (slika 4).



Slika 4. Geoportal o objektima i putevima

„Katastar nepokretnosti“ služi za upravljanje zemljištem. Omogućava unos, pregled i pretragu informacija o parcelama, uključujući detalje kao što su površina, srez, katastarska opština, brojevi parcela i namena zemljišta. Takođe postoji forma za dodavanje ili izmenu podataka o zemljišnim parcelama i tabelu koja prikazuje rezultate pretrage sa opcijama za izmenu ili brisanje unosa.

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja sveobuhvatan pristup razvoju geoportala koji omogućava korisnicima jednostavnu pretragu parcela, vizualizaciju podataka i interakciju sa prostorom čime poboljšava efikasnost i pristup informacijama. Koristeći moderne tehnologije, kao što su Angular za front end razvoj i OpenLayers za vizualizaciju geoprostornih podataka, geoportal omogućava korisnicima da pretražuju parcele po broju i podbroju, pružajući im detaljne informacije o zemljištu, objektima i nosiocima prava.

Zahvaljujući svojoj modularnosti i fleksibilnosti, moguć je dalji razvoj i unapređenje geoportala, kao i dodavanje novih funkcionalnosti i slojeva podataka u skladu sa potrebama korisnika. U budućnosti se planira integracija dodatnih geografskih informacija i mogućnosti za analizu podataka, što će doprineti još boljoj podršci u donošenju odluka u oblasti upravljanja zemljištem i urbanog planiranja.

8. LITERATURA

- [1] Govedarica, M., Sladić, D. and Radulović, A. Infrastruktura geoprostornih podataka i geoportali. Novi Sad : FTN, 2018.
- [2] "Geographic Information Systems and Science" - Paul A. Longley, Michael F. Goodchild, David J. Maguire, David W. Rhind
- [3] H. Jiang, J. Van Genderen, P. Mazzetti, H. Koo, and M. Chen, "Current status and future directions of geoportals," Int. J. Digit. Earth, vol. 13
- [4] <https://www.iso.org/standards.html> [Online]
- [5] <https://nsdi.gov.lk/reference-standards> [Online]
- [6] https://iss.rs/sr_Cyrl/project/show/iso:proj:81266 [Online]
- [7] <https://www.gov.ie/en/publication/1def1-inspire-directive/#:~:text=INSPIRE%20across%20Europe-What%20INSPIRE%20is,an%20impact%20on%20the%20environment> [Online]
- [8] OGC standards, <https://www.ogc.org/standards> [Online]
- [9] <https://www.ibm.com/topics/soa> [Online]
- [10] <https://www.coursera.org/articles/front-end-vs-back-end>. [Online]

Kratka biografija:



Stefan Nikolić rođen je u Pirotu 1997. god. Završio srednju tehničku školu smer geodezija 2016. god. Godinu kasnije upisuje Fakultet tehničkih nauka, smer geodezija i geometrija. Diplomirao je 2023. god. i iste upisuje master studije na istom smeru. kontakt: stefan552433@hotmail.com

ANALIZA ZONA OPASNOSTI SKLADIŠTA ZA ZAPALJIVE I OPASNE MATERIJE ANALYSIS OF HAZARD ZONES IN STORAGE FACILITIES FOR FLAMMABLE AND HAZARDOUS MATERIALS

Davor Pantić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – UPRAVLJANJE RIZIKOM OD KATASTROFALNIH DOGAĐAJA I POŽARA

Kratak sadržaj – U ovom radu sprovedena je analiza zona opasnosti za skladište zapaljivih i opasnih tečnosti, pri čemu je poseban akcenat stavljen na potencijalna isparenja i njihove efekte na prostor kao i na sistem ventilacije koji se koristi u tom prostoru. U radu su takođe objašnjeni načini obeležavanja opreme po evropskim i svetskim standardima i direktivama.

Ključne reči: analiza zone opasnost, ventilacija

Abstract – This paper presents an analysis of hazard zones for a storage facility containing flammable and hazardous liquids, with a particular emphasis on potential vapors and their impact on the working environment, as well as the ventilation system used in this area. The paper also explains the methods of equipment labelling according to European and international standards and directives.

Keywords: explosion, analysis of hazard zones, , ventilation system

1. UVOD

U ovom radu je sprovedena analiza zona opasnosti u skladištima zapaljivih i opasnih materija, koja uključuje sveobuhvatno razmatranje tehničkih, organizacionih i bezbednosnih aspekata. Fokus rada je na identifikaciji opasnosti od eksplozija, smanjenju rizika i implementaciji tehničkih mera zaštite kako bi se osigurala bezbednost u industrijskim postrojenjima, posebno u kontekstu skladištenja materija koje mogu izazvati eksplozivne atmosfere.

2. IDENTIFIKACIJA OPASNOSTI I TEHNIČKI STANDARDI

Uspostavljanje zakonskog okvira, kako na nacionalnom tako i na međunarodnom nivou, jedan je od najvažnijih aspekata u obezbeđivanju sigurnosti industrijskih postrojenja. Kroz analizu relevantnih zakonskih akata [1 i 2] identifikovane su obavezne zaštitne mere za skladišta zapaljivih materija.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirjana Laban, red. prof.

Izrada Dokumenta o zaštiti od eksplozije (EPD)- je obavezna za, svako preduzeće koje rukuje opasnim materijama.

Ovaj dokument sadrži sveobuhvatnu analizu potencijalnih izvora opasnosti, klasifikaciju zona opasnosti, i propisane mere zaštite koje moraju biti implementirane.

Osim toga, Zakonom je propisano da se analiza zona opasnosti mora sprovoditi ne samo za nove objekte, već i za postojeće objekte pri svakoj dogradnji, rekonstrukciji ili promeni u tehnološkom procesu. Ovo osigurava da su bezbednosne mere uvek ažurirane i prilagođene stvarnim uslovima u postrojenju.

3. UPRAVLJANJE VENTILACIJONIM SISTEMIMA I DETEKCIJA EKSPLOZIVNE ATMOSTERE

Ventilacioni sistemi igraju ključnu ulogu u prevenciji eksplozivnih atmosferskih uslova. U radu je analizirana efikasnost prirodne i veštačke ventilacije u prostorima skladištenja zapaljivih tečnosti. Prirodna ventilacija, ukoliko je pravilno dizajnirana, pruža najefikasniju zaštitu jer omogućava konstantan protok vazduha, čime se smanjuje koncentracija zapaljivih isparenja. Međutim, u određenim slučajevima je neophodna upotreba veštačkih ventilacionih sistema u Ex izvedbi (Oprema projektovana, izvedena i označena sa "Ex" je testirana i sertifikovana da zadovoljava specifične sigurnosne zahteve kakao bi se sprečile eksplozije), posebno u prostorima sa slabim prirodnim protokom vazduha.

Procena stepena ventilacije i njenog uticaja na prostore ugrožene eksplozivnim koncentracijama gasova, para i magla se u ovoj Analizi vrši u skladu sa postupkom datim u aneksu B standarda SRPS EN 60079-10-1.

3.1. Procena hipotetičke zapremine Vz

Minimalna ventilacija potrebna za smanjenje koncentracije zapaljivog materijala ispod donje granice eksplozivnosti može se izračunati koristeći sledeću formulu:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{min} = \frac{\left(\frac{dV}{dt}\right)_{max} \cdot T}{k \cdot DGE_m \cdot 293} \quad (1)$$

Gde je:

- $(dV/dt)_{min}$ – minimalna zapremina protoka svežeg vazduha (zapremina u jedinici vremena, m^3/s)
- $(dG/dt)_{max}$ – maksimalna stopa ispuštanja na izvoru (masa u jedinici vremena, kg/s)

- DGE_m – donja granica eksplozivnosti (masa po zapremini, kg/m³)
- K – koeficijent sigurnosti koji se primenjuje kod DGE; k = 0,25 (za trajni i primarni izvor opasnosti) ili k = 0,5 (za sekundarni izvor opasnosti)
- T – Temperatura okolne sredine (izražena u kelvinima K)

Sa datim brojem promena vazduha u jedinici vremena i sa datom vrednošću C, koja predstavlja opštu ventilaciju date oblasti, hipotetička zapremina V_z potencijalno eksplozivne atmosfere koja nastaje oko izvora ispuštanja može se izračunati na osnovu sledeće formule:

$$V_z = \frac{(dV/dt)_{min}}{C} \quad (2)$$

Gde je:

- C broj promena svežeg vazduha u jedinici vremena

Za zatvoren prostor, vrednost C se izračunava prema sledećoj formuli:

$$C = \frac{dV_0/dt}{V_0} \quad (3)$$

Gde je:

- dV₀/dt – ukupan protok svežeg vazduha
- V₀ – ukupna zapremina na koju se primenjuje ventilacija ukupna zapremina na koju se primenjuje

3.2. Stepen ventilacije

Početne procene sugerišu da kontinuirani razred oslobađanja gasa obično odgovara zoni 0, dok primarni razred odgovara zoni 1, a sekundarni razred zoni 2. Ipak, ovo može varirati zbog uticaja ventilacije [3].

Zapremina V_z može se koristiti za procenu nivoa ventilacije kao jake, srednje ili niske za svaki razred oslobađanja gasa:

Jaka ventilacija (JV): Ova vrsta ventilacije smatra se jakom samo ako procena rizika pokazuje da je obim potencijalne štete zbog naglog povećanja temperature i/ili pritiska, usled paljenja eksplozivne gasne atmosfere, u zapremini V_z zanemarljiv.

Srednja ventilacija - Ako ventilacija nije ni jaka (JV) ili niska (NV), onda bi trebalo da se posmatra kao srednja (SV). Normalno, V_z će biti manja ili jednaka V₀. Ventilaciju treba posmatrati kao srednju ako kontroliše disperziju oslobođene zapaljive pare ili gasa. Vreme potrebno da se razredi eksplozivna atmosfera posle prestanka ispuštanja treba biti takvo da je ispunjen uslov ili za zonu 1 ili zonu 2, zavisno od toga da li je stepen oslobađanja primaran ili sekundaran.

Niska ventilacija - Ventilaciju treba posmatrati kao nisku (NV) ako V_z prelazi V₀. Najniža ventilacija se obično neće javljati u otvorenim situacijama, osim kada postoje ograničenja protoka vazduha, na primer, u jamama.

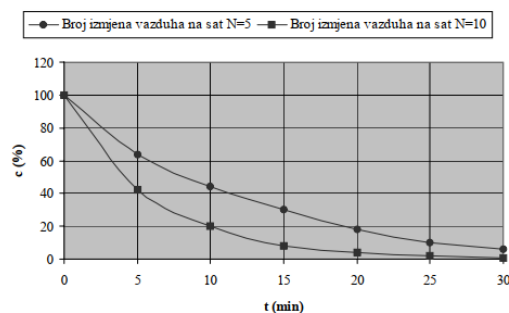
3.3. Primarna protiveksplozivna zaštita – ventilacija i ventilacioni sistemi

Ventilacija ima presudnu ulogu u upravljanju veličinom i trajanjem oblaka zapaljivih gasova ili para nakon njihovog oslobađanja. Pravilno postavljena ventilacija može značajno smanjiti mogućnost stvaranja eksplozivne atmosfere.

Shodno načinu kretanja vazduha u prostoru razlikujemo tri tipa ventilacije:

- **Prirodna ventilacija:** pokretanje vazduha pod uticajem vetra, razlika u pritisku između unutrašnjeg i spoljnog prostora ili temperaturnih razlika.
- **Opšta veštačka ventilacija:** ventilatori omogućavaju kontinuiranu cirkulaciju i zamenu vazduha u celom prostoru.
- **Lokalna veštačka ventilacija:** vazduh se veštački menja u određenim područjima, naročito oko izvora opasnosti.

Izračunavanje količine vazduha koji ulazi i izlazi iz prostorije uključuje pojam "broja izmena vazduha", što označava koliko puta u toku jednog sata vazduh u prostoriji treba da bude u potpunosti zamenjen (Sl.1).



Slika 1. Uticaj broja izmena vazduha na koncentraciju zapaljivih isparenja [4]

Razlikuje dva osnovna tipa ventilacije: nadgledana i kontrolisana.

Nadgledana ventilacija je prinudno provetravanje prostora u kome je strujanje vazduha nadgledano radom elektromotora ventilatora i vremenskim mernim pretvarača, tako da se pri ispadanju iz rada bilo kog ventilatora isključuju uređaji koji predstavljaju opasnost, a ponovo se mogu uključiti tek posle pet izmena vazduha u istom prostoru.

Kontrolisana ventilacija je prinudno provetravanje prostora u kome je strujanje vazduha kontrolisano kontrolnim uređajem i vremenskim mernim pretvarača, tako da se pri smanjenju ili prestanku strujanja vazduha isključuju iz rada uređaji koji predstavljaju opasnost.

3.4. Sistem detekcije eksplozivne atmosfere

Ovi sistemi predstavljaju dodatni nivo zaštite. U radu su analizirani standardi SRPS EN 60079-29-1, koji regulišu upotrebu detekcionih uređaja za identifikaciju potencijalno eksplozivnih atmosferskih uslova. Ovi uređaji omogućavaju pravovremeno otkrivanje zapaljivih

isparenja i aktiviranje sigurnosnih mera pre nego što dođe do kritične situacije.

4. KLASIFIKACIJA UGROŽENOG PROSTORA I ZONE OPASNOSTI PREMA ATEX

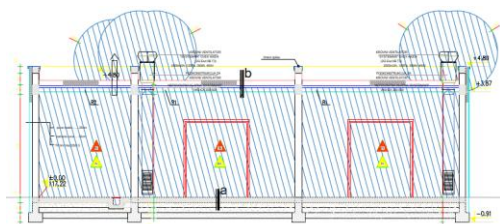
Nakon identifikacije i klasifikacije izvora opasnosti, može se utvrditi rizik od pojave eksplozivne atmosfere u određenom prostoru. Ovaj rizik zavisi od verovatnoće ispuštanja zapaljivih materija, svojstava samog izvora opasnosti i ventilacije prostora. Sledeći korak je definisanje i klasifikacija ugroženih prostora kao zona opasnosti.

Prema direktivi 1999/92/EC, ugroženi prostori su oni u kojima može doći do stvaranja eksplozivne atmosfere u koncentracijama koje zahtevaju primenu posebnih mera zaštite zdravlja i bezbednosti radnika. Prostori se klasifikuju u različite zone opasnosti na osnovu učestalosti i trajanja prisustva eksplozivne atmosfere (Sl.2). Prostori sa gasovima, parama i maglami se dele na: *Zona 0*, *Zona 1*, i *Zona 2*. Prostori ugroženi eksplozivnim prašinama se klasifikuju kao: *Zona 20*, *Zona 21*, *Zona 22*.



Slika 2. Grafički prikaz zona opasnosti [5]

Analiza zona opasnosti koja se sprovela u ovom radu se odnosi na magacin zapaljivih materija dimenzija 12,74 x16,24 m i najveće čiste te visine od 3,87 m u kojoj su uskladištene zapaljive materije razvrstane u prostoriji prema klasi zapaljivosti (Dizel gorivo, alkohol, razređivači na bazi sitola). Pregledom kompletnog objekta i direktnom primenom standarda [3], kao i sagledavanjem fizičko-hemijskih osobina uskladištenih supstanci, definisane su zone opasnosti za ceo objekat.(Sl.3)



Slika 3. Presek B-B sa prikazanim zonama opasnosti

Nakon sprovedene analize, unutrašnjost objekta klasifikovana je u zonu 2, a usvojen stepen zaštite za ceo objekat je EExIIGbT3 koji ispunjava postavljene zahteve.

5. OBELEŽAVANJE UREĐAJA U POTEJNIJALO EKSPLOZIVNIM SREDINAMA

Načini označavanja električne i neelektrične opreme koja se sme koristiti u ugroženim prostorima, u skladu sa domaćim i evropskim propisima sledeći.

Prema tim propisima, sva oprema mora biti označena vidljivim i trajnim oznakama na glavnom delu uređaja, uzimajući u obzir moguću hemijsku koroziju. Standard SRPS EN 60079-0, koji definiše način označavanja električne opreme, primenjuje se od decembra 2008. godine i zamenio je prethodni standard SRPS N.S8.011. Označavanje uređaja u skladu sa direktivom 1994/9/EC zahteva da oznake budu čitljive i trajne, te da sadrže sledeće podatke: naziv i adresu proizvođača, CE oznaku, tipsku oznaku, serijski broj, godinu proizvodnje i specijalnu oznaku protiv eksplozivne zaštite, sa simbolom grupe i kategorije uređaja. Za grupu II uređaja mora biti dodato slovo "G" za uređaje namenjene eksplozivnim gasovima i paramama, odnosno slovo "D" za eksplozivne prašine. CE oznaka, uvedena direktivom 93/68/EEC iz 1993. godine, označava usklađenost proizvoda sa zahtevima Evropske unije u pogledu bezbednosti, zdravlja i zaštite životne sredine. Srpski znak usaglašenosti ("3A") potvrđuje da je proizvod usklađen sa domaćim tehničkim propisima.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da primenom odgovarajuće opreme kao i projektovanjem odgovarajućih ventilacionih sistema rizik od eksplozije će se svesti na minimum. Zakonodavni okvir, kako domaći tako i međunarodni, naglašava značaj preventivnih mera u upravljanju rizikom od eksplozija. Direktive kao što su ATEX i domaći Zakoni o zaštiti od požara postavljaju temelje za bezbednosne standarde koji se moraju poštovati u svim industrijama koje rukuju opasnim materijama. U radu su detaljno analizirane ATEX direktive 2014/34/EU i 1999/92/EC koje regulišu bezbednosne zahteve za opremu i sisteme za zaštitu u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

Ovaj rad pruža čvrste osnove za dalji razvoj procedura bezbednosti u ovoj oblasti, naglašavajući da je neophodno stalno usavršavanje tehnologija zaštite, kako bi se rad u industrijskim postrojenjima učinio što bezbednijim.

LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od požara Sl. glasnik RS, br. 111/2009, 20/2015, 87/2018 i 87/2018
- [2] Zakon o zapaljivim tečnostima i gasovima Sl. glasnik RS", br. 54/2015
- [3] ISS, SRPS EN 60079-10-1, 2022.
- [4] R. M. Jovanov, Protiv eksplozivna zaštita električnih i neelektričnih uređaja i instalacija, Beograd: Institut za nuklearne nauke Vinča, 2014.
- [5] Appelton, Hazardous locations guide, Appelton

Kratka biografija:



Davor Pantić rođen je u Zenici 1986. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Upravljanja rizikom od katastrofalnih događaja i požara odbranio je 2024.god. kontakt: davor.pantic1@gmail.com

УДК:

DOI:

АНАЛИЗА РИЗИКА ЗА РАДНА МЕСТА СА ПОВЕЋАНИМ РИЗИКОМ**RISK ANALYSIS FOR JOBS WITH INCREASED RISK**

Ивана Јелачић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – УПРАВЉАЊЕ РИЗИЦИМА ОД
КАТАСТРОФАЛНИХ ДОГАЂАЈА И ПОЖАРА**

Кратак садржај – Безбедност и здравље на раду је један од интегралних сегмената људске безбедности у савременом друштву. На радним местима се преклапају више природних и техничко-технолошких, као и безбедносних хазарда. Једно од најкомплекснијих радних места су свакако све позиције у ватрогасноспасилачким бригадама, али их има мноштво и у другим професијама.

У раду је извршена процена ризика за радно место ватрогасац-спасилац и за радно место инструктор летења. За ова радна места се претпоставља да ће ризик бити висок и да су потребне посебне мере за смањење ризика на прихватљив ниво. Одабрана је одговарајућа метода за процену ризика и образложен је избор методе.

У закључном делу рада наведене су имплементирани мере за смањење ризика и оцењена успешност примењених мера.

Кључне речи: Безбедност и здравље на раду, заштита од пожара, процена ризика, радна места, мере превенције.

Abstract – Safety and health at work is one of the integral segments of human safety in modern society. Several natural and technical-technological, as well as safety hazards overlap at workplaces. One of the most complex jobs is certainly in fire brigades, but there are many of them in other professions as well.

The risk assessment for the position of firefighter and flying instructor have been done, since it was assumed that the occupational risk is high and special measures are needed to reduce the risk to an acceptable level. The appropriate method for risk assessment was chosen and justified.

In the concluding part of the paper, the implemented measures for risk reduction were listed and the success of the implemented measures was evaluated.

Keywords: Safety and health at work, fire protection, risk assessment, workplaces, preventive measures

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Мирјана Лабан, ред. проф.

1. УВОД

На конкретном примеру процене ризика за радна места „Ваздухопловне академије Београд“, која се претежно оцењују као радна места са повећаним ризиком, дата је детаљна анализа прорачуна нивоа ризика на основу препознавања и утврђивања опасности и штетности које се појављују у процесу рада запослених.

„Ваздухопловна академија“ је образовна установа која се бави средњим стручним образовањем, односно образовањем и васпитањем ђака средњошколског узраста, едукацијом и обуком младих кадрова у области ваздухопловства. Процена ризика за радна места у овом истраживању је спроведена у оквиру у Вршцу.

„Тренинг центар Ваздухопловне академије у Вршцу“, је екстерна наставна база на аеродрому Вршац у којој се реализује практични део наставе, представља један од најбољих тренинг центара у региону са 18 једномоторних и два двомоторна авиона, EASA (European Union Aviation Safety Agency) Парт 145 Maintenance Organisation Approval и Аеродромском контролом летења (АКЛ) [1].

Основни документ који садржи процене ризика је Акт о процени ризика за радна места и радну околину који је у законској обавези да донесе сваки послодавац, према Закону о безбедности и здрављу на раду [2]. Посебан нагласак је дат на процену опасности од пожара и експлозија. Мере за унапређење стања су дате у закључном поглављу.

2. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЕНУ РИЗИКА ЗА РАДНА МЕСТА И У РАДНОЈ ОКОЛИНИ

Методе за процену ризика бира процењивач, на основу свог експертског искуства и типа предметне процене. У овом случају, за процену ризика је одабрана KINNEY метода због могућег повезивања претпоставке дешавања могућег штетног догађаја са фактичким стањем на терену и на основу тога доношење закључка о нивоу ризика на радном месту, а након тога спровеђењу мера заштите. У методи KINNEY остварење хазарда посматра се као настанак опасности и штетности. Идентификацијом потенцијалних опасности и штетности утврђује се и потенцијални ниво ризика на радном месту [3].

Израчунавање ризика на радном месту врши се на следећи начин (1):

$$P = B \times U \times P \quad (1)$$

Где је:

B- вероватноћа повређивања/обољења (B),

У- учесталост и време излагања опасностима/ штетностима (У) и
П- последица, односно тежина могуће повреде или обољења (П).

У табелама које у наставку следе (табела 1.2.3.), одређују се вредности за свако радно место посебно и за сваку опасност и штетност која се појављује у процесу рада код запосленог конкретно на његовом радном месту, а на основу следећих докумената: Правилника о организацији и систематизацији радних места, Правилника о раду и Уговора о раду, уз помоћ којих послодавац решава радне односе са запосленима.

Табела 1. *Изражавање вероватноће:*

<i>В – вероватноћа повређивања/обољења</i>		
Ранг	Квалитативни опис вероватноће	Нумеричка вредност
1	Једва појмљиво	0,1
2	Практично невероватно	0,2
3	Постоји, али мало вероватно	0,5
4	Мала вероватноћа, али могућа у ограниченим случајевима	1
5	Мало могуће	3
6	Сасвим могуће	6
7	Предвидиво, очекивано	10

Табела 2. *Изражавање учесталости:*

<i>У– учесталост излагања опасностима/штетностима</i>		
Ранг	Квалитативни опис учесталости	Нумеричка вредност
1	Излаже се ретко (годишње)	1
2	Излаже се месечно	2
3	Излаже се недељно	3
4	Излаже се дневно	6
5	Излаже се трајно, континуирано	10

Табела 3. *Изражавање последица:*

<i>П – Последица могуће повреде или обољења</i>		
Rang	Квалитативни опис последице	Нумеричка вредност
1	Болест, повреда која захтева прву помоћ и никакав други третман	1
2	Медицински третман од стране лекара	2
3	Озбиљне – Инвалидност, појединачна озбиљна повреда са хоспитализацијом и изгубљеним данима	3
4	Веома озбиљне – Појединачна несрећа са смртним исходом	6
5	Катастрофалне – Вишеструки смртни исход	10

На основу утврђених параметара који су унешени у табелу процене ризика, прорачуна се ниво ризика који се добија као производ вероватноће, учесталости и последица, те се долази до нумеричке (бројчане) вредности коју представља НИВО РИЗИКА. Бројчана вредност одређује вредност нивоа ризика (табела 4.) и долази се до ранга ризика, на основу којег се прописују мере за спречавање и смањење ризика за сваку опасност и штетност на радном месту [3].

Табела 4. *Изражавање нивоа/ранга ризика:*

Р – Ниво односно ранг ризика			
Укупна оцена	Ниво ризика	Класификација нивоа ризика	Опис класификације нивоа ризика
$P \leq 20$	P I	Занемарљиво мали ризик	Не захтева се никаква акција.
$20 < P \leq 70$	P II	Мали ризик	Нема потребе за додатним активностима при управљању операцијом. Може се размотрити економски исплативије решење или унапређење без додатних улагања. Потребно је пратити ситуацију, како би поседовали информације о спровођењу прописаних активности.
$70 < P \leq 200$	P III	Средњи ризик	Потребно је уложити напор како би се смањило ризик, али трошкови превенције морају бити пажљиво планирани и ограничени до извесног нивоа. Потребно је дефинисати рок за спровођење унапређења. Код оних догађаја код којих могу наступити изузетно опасне последице, потребно је додатно проверити вероватноћу настанка таквог догађаја како би се дефинисао потребан ниво активности на ублажавању ризика.
$200 < P \leq 400$	P IV	Високи ризик	Не сме се започети са датом активношћу док ниво ризика не буде снижен. Могу бити потребна знатна средства како би се ризик смањило. Ако се ризик односи на све започете активности, потребно је предузети хитне акције на смањењу нивоа ризика.
$P > 400$	P V	Екстремно високи ризик	Активност не сме бити започета ни настављена, све док се ниво ризика не смањи. Ако ни улагањем неограничених средстава није могуће смањити ниво ризика, активност мора остати забрањена.

3. ПРОЦЕНА РИЗИКА ЗА РАДНА МЕСТА НА ВАЗДУХОПЛОВНОЈ АКАДЕМИЈИ

Према Правинику о вођењу евиденција у области безбедности и здравља на раду [4], дефинисано је и описано 39 опасности и штетности, које се на основу препознавања и утврђивања разматрају појединачно за свако радно место. Бирају се на основу описа посла, радних активности, опреме коју запослени употребљава и радне околине у којој ради. Све се сагледава и уносе се параметри ризика за сваку опасност и штетност која се појављује у процесу рада. Опасности и штетности које се не појављују код запосленог не разматрају се [1].

3.1 Радна места обухваћена проценом ризика

У оквиру истраживања за мастер рад, детаљно су анализирана радна места ИНСТРУКТОР ЛЕТЕЊА И ВАТРОГАСАЦ СПАСИЛАЦ.

Сматра се да ова радна места садрже више опасности и штетности приликом рада и излагању ризицима који нису уобичејени. *Инструктор летења* радно време проводи претежно у ваздуху, односно управља ваздухопловом приликом обуке ученика и излаже се ризику од пада са висине, могућношћу неотварања падобрана, ограничењу радног простора и излагању експлозивним атмосферама, док се *ватрогасац спасилац* излаже широком спектру ризика од повреда и угрожавања живота приликом интервенција гашења пожара, акцидентних ситуација и спасавања људи.

4. ПРОЦЕНА, ВРЕДНОВАЊЕ И МЕРЕ ЗА СМАЊЕЊЕ РИЗИКА

Поступак процене ризика започиње идентификацијом опасности и штетности за дато радно место у односу на опис посла, средства за рад и материјале које запослени употребљава на свом радном месту [5].

Саставља се табела процене ризика гледајући редове као фактор опасности (табела 5.1 и 5.2), уносе се шифре опасности и штетности које се појављују у процесу рада за одређено радно место. У колоне се уноси помоћно средство за одређивање опасности, описна анализа вероватноће повређивања, последице могуће повреде и учесталости излагања опасности/штетности.

Табела 5.1. *Опасности и штетности које се појављују у процесу рада - инструктор летења:*

ШИФРА РИЗИКА	ОПАСНОСТИ
01	Недовољна безбедност због ротирајућих или покретних делова
08	Рад на висини или дубини, у смислу прописа о безбедности и здрављу на раду
18	Опасности услед удара грома и последица атмосферског пражњења
22	Физичке штетности (бука и вибрације)
32	Напори при обављању одређених послова који проузрокују психолошка оптерећења (стрес, монотонија и сл.)

Табела 5.2 *Опасности и штетности које се појављују у процесу рада – ватрогасац спасилац:*

ШИФРА РИЗИКА	ОПАСНОСТИ
03	Унутрашњи транспорт и кретање радних машина или возила као и померања одређене опреме за рад
06	Други фактори који могу да се појаве као механ. извори опасности
08	Рад на висини или дубини, у смислу прописа о безбедности и здрављу на раду
21	Хемијске штетности, прашина и димови (удисање, гушење, уношење у организам, продор у тело кроз кожу, опекотине, тровање, и сл.)
32	Напори при обављању одређених послова који проузрокују психолошка оптерећења (стрес, монотонија и сл.)

Посматрајући укрштање колона и редова додаје се још једна табела где се уносе подаци нумеричке вредности вероватноће, последица и учесталости (табеле 1., 2. и 3.), у односу на шифру опасности и штетности, шта би запосленом могло да се деси ако би се остварио тај hazard. Вероватноћа, учесталост и последице дефинишу се на основу података који се добијају од послодаваца (радno време, услови за заснивање радног односа) систематским евидентирањем и процењивањем свих фактора који се појављују у процесу рада, препознавањем и утврђивањем свих ризика на радном месту-компетенцијом лица које процењује ризике. Из табеле KINNY методе у зависности у којој мери се појављује код запосленог, добија се ниво ризика за сваку опасност и штетност. Вредност ризика се добија на основу једначине (1).

5. ПРОРАЧУН НИВОА РИЗИКА, ОЦЕНА РАДНИХ МЕСТА

На основу добијених резултата констатује се да су радна места инструктор летења и ватрогасац-спасилац, оцењена као радна места са повећаним ризиком.

У зависности од опасности и штетности на сваком од наведених радних места, утврђен је висок ризик, где су потребне корекције како би се ризик смањио на нижи ниво.

У следећој табели (табела 6.) приказани су резултати процене ризика и дати коментари за добијен прорачун нивоа ризика за процењена радна места.

5. ЗАКЉУЧАК

Анализом се утврђује да постоје посебне потребе за утврђивање приоритета у отклањању ризика. Предложене опште мере за смањење ризика су: извршити преглед и испитивање електричних инсталација и прибавити стручни налаз, извршити испитивање услова радне околине (микроклиматске факторе и осветљеност) за зимски и летњи временски период и прибавити стручни налаз и извршити испитивање услова радне околине за физичке штетности (буку) и хемијске материје и прибавити стручни налаз.

Табела 6. Резултати ризика, анализа:

Р – Ниво односно ранг ризика				Резултати ризика	
Укупна оцена	Ниво ризика	Класификација нивоа ризика	Опис класификације нивоа ризика	Опасности и штетности због којих је увећан ризик	
200 < P ≤ 400	Р IV	Високи ризик	Не сме се започети са датом активношћу док ниво ризика не буде снижен. Могу бити потребна знатна средства како би се ризик смањило. Ако се ризик односи на све започете активности, потребно је предузети хитне акције на смањењу нивоа ризика.	ИСТРУКТОР ЛЕТЕЉА	01 08 18 22 32
				ВАТРОГАСАЦ СПАСИЛАЦ	03 06 08 21 32

Посебно је битно извршити преглед и проверу опреме за рад која подлеже прегледу и провери опреме за рад и прибавити стручни налаз и спровести обавезан лекарски преглед за запослене који раде на радним местима са повећаним ризиком.

Неопходна је периодична обука запослених за безбедан и здрав рад у периоду од годину дана од претходног прегледа за радна места са повећаним ризиком, као и обезбедити курс из пружања прве помоћи за мин. 2% од укупног броја запослених.

Остали ризици који се јављају у току рада код послодавца таквог карактера да се могу отклањати у редовном току пословања.

Најважнија мера која се примењује у циљу управљања ризицима и смањења ризика на најмању могућу меру је оспособљавање запослених за безбедан и здрав рад. Сматра се да је запослени оспособљен за безбедан и здрав рад када је присуствовао обуци, а затим позитивно решио тест, и потврдио својим потписом да је разумео препоруке и у да је упознат са опасностима и штетностима на радном месту.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Извор документације: аутор (сопствени извор, фотографије са терена, прикупљање информација од стране запослених и послодавца, састављање форми докумената за пружање услуга послова безбедности и здравља на раду и заштите од пожара),

- [2] Закон о безбедности и здравља на раду ("Службени гласник РС", бр. 35/2023),

- [3] Акт о процени ризика за радна места и радну околину, израда документа за послодавца Ваздухопловна академија, процењивач ризика аутор: Ивана Јелачић, запослена код послодавца „Институт за интегрисану безбедност Заштита и Превентива доо Нови Сад“, Хероја Пинкија 55, Нови Сад,

- [4] Правилник о евиденцијама у области безбедности и здравља на раду („Службени гласник РС”, број 62/2007 и 102/2015),

- [5] Правилник о начину и поступку процене ризика на радном месту и у радној околини ("Службени гласник РС" број 72/06 и 84/06 - испр. и 30/10 и 102/2015).

Кратка биографија:



Ивана Јелачић рођена је у Новом Саду 1985. год. Специјализирала заштиту на раду 2017.год. на Високој техничкој школи струковних студија. Дипломирала на Факултету техничких наука 2019.год. Управљање ризицима од катастрофалних догађаја и пожара 2019.год., запослена у струци, 10 година радног искуства. Контакт: ivanajelacic123@gmail.com



Мирјана Лабан рођена је у Руми, 1965. год. Докторирала је на Факултету техничких наука 2012. год., а од 2023. је у звању редовни професор. Области интересовања су безбедност од пожара, одржива градња и смањење ризика од катастрофа.

UDK: 005.334:614.75

DOI: <https://doi.org/10.24867/31NU02Jelacic>

ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ЗЕМЉОТРЕСА ПОСЛОВНОГ ОБЈЕКТА „ДУНАВ ЦЕНТАР“ У ЗРЕЊАНИНУ

EARTHQUAKE RISK ASSESSMENT OF THE BUSINESS FACILITY "DUNAV CENTAR" IN ZRENJANIN

Алекса Милошевић, Слободан Шупић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ ОД КАТАСТРОФАЛНИХ ДОГАЂАЈА И ПОЖАРА –

Кратак садржај: У оквиру мастер рада “ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ЗЕМЉОТРЕСА ПОСЛОВНОГ ОБЈЕКТА „ДУНАВ ЦЕНТАР“ У ЗРЕЊАНИНУ” представљена је процена ризика од земљотреса за наведени субјекат. Поступак процењивања и садржај процене усаглашени су са Упутством о методологији за израду процене ризика и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама. У истраживачком делу рада, дат је увид у типове објекта у Србији и опис European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98 скале)..

Кључне речи: Процена ризика, методологија, земљотрес, пословни објекат, управљање ризиком.

Abstract:

Within the masters thesis 'EARTHQUAKE RISK ASSESSMENT OF THE BUSINESS FACILITY "DUNAV CENTAR" IN ZRENJANIN' an earthquake risk assessment for the mentioned subject was presented. The assessment procedure and the content of the assessment are in accordance with the Instruction on the Methodology for Developing Risk Assessments and Protection and Rescue Plans in Emergency Situations. In the research part of this paper, an insight into the types of buildings in Serbia and a description of the European Macroseismic Scale 1998 was given. As the conclusion some suggestions for improvement were given.

Keywords: Disaster risk assessment, earthquake, methodology, business facility, risk management

1. ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО

Европска макросеизмичка скала ЕМС-98 представља стандардизовану методологију за описивање утицаја земљотреса на људе, предмете, природу, и грађевинске структуре. Скала класификује сеизмичке догађаје у више степена интензитета, од неосетних до веома јаких земљотреса, узимајући у обзир различите аспекте као што су реакција људи, ефекти на објекте, као и оштећења на грађевинама. На овај начин се обухватају сви кључни елементи утицаја земљотреса, што омогућава свеобухватан приступ у процени ризика и планирању сеизмичке отпорности.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада, чији је ментор др Слободан Шупић, доцент.

Грађевинске структуре се према ЕМС-98 скали сврставају у четири основне категорије – зидане, армиранобетонске, челичне и дрвене, док се повредљивост објекта класификује у шест класа повредљивости А, В, С, D, Е и F при чему је словом А означена најповредљивија класа, а словом F најмање повредљива класа (тј. најотпорнија класа).

ЕМС-98 дефинише пет степена оштећења (ДГ1-ДГ5), која се примењују на зидане зграде и зграде од армираног бетона.

Ова класификација оштећења пружа кључне смернице за даљи развој противтрусног дизајна грађевина, који треба да узме у обзир специфичне особине тла, као и материјале и структуру зграда, са циљем минимизовања ризика и заштите живота и имовине у сеизмички активним подручјима. Ефикасна примена ЕМС-98 скале омогућава инжењерима, архитектама и урбанистима да боље разумеју и предвиђају последице земљотреса, што доприноси сигурнијем планирању градње и унапређењу отпорности постојећих објеката.

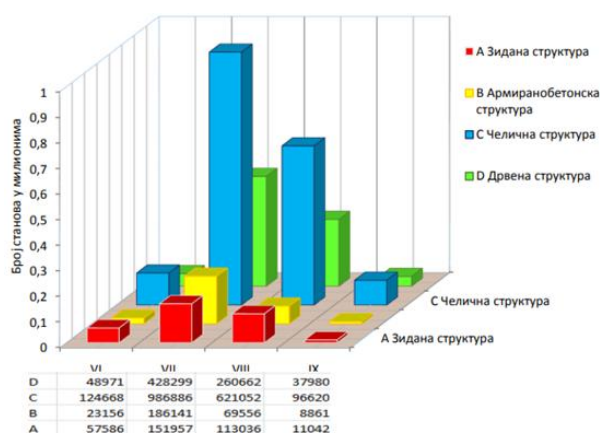
Табела 1. ЕМС-98 подела објекта у класе повредљивости

Тип објекта		Класе повредљивости						
		A	B	C	D	E	F	
Зидане конструкције	Домљени камен	M1	O	xxx				
	Непечена опека (веричи)	M2	O	x				
	Обичан камен	M3	I----					
	Масиван камен	M4	xxx x	O	xxx x			
	Неармирана опека/бетонски блокови	M5	I----	O	----			
	Неармирани зидови са армираном међустратном конструкцијом	M6		xxx x	O	xxx x		
	Армирана или везана зидана конструкција	M7			I----	O	xxx x	
Армиранобетонске конструкције	рамови без асиметричне грађе	RC1-W	I----	-----	O	xxx x		
	рамови уз умерен степен асиметричне грађе	RC1-L		I-----		O	xxx x	
	рамови уз висок степен асиметричне грађе	RC1-H			I-----		O	xxx x
	зидови без асиметричне грађе	RC2-W	I----	-----	O	xxx x		
	зидови уз умерен степен асиметричне грађе	RC2-L			I----		O	xxx x
	зидови уз висок степен асиметричне грађе	RC2-H				I----	O	xxx x
	Челик	S			I-----	-----	O	
Дрво	објекти од дрвене грађе	W		I-----	-----	O	xxx x	

1.5 Изложеност стамбеног фонда

Опасност по становништво проистиче у највећој мери из опасности тешких оштећења и рушења објеката. Различите статистике добијене након великих земљотреса широм света показују да око 25% смртних случајева од земљотреса настаје услед структурних оштећења елемената објеката (падање преградних зидова, стакала, кровних елемената итд.).

Како подаци о броју и типу објеката у Србији, нису доступни јавности, процена угрожености објеката на основу класа повредљивости извршена је 2017. године коришћењем посредних података о броју станова и времену њихове градње добијених пописом 2011. године., креирањем посебног упита како би се посредно добили подаци о згради, а који се тичу године изградње, спратности, површине станова, броју становника, итд. На основу поменутог упита извршена је класификација зграда коришћењем свих расположивих података који су били доступни за процену повредљивости (Слика 1).



Слика 1. Расподела станова према типовима структуре у Републици Србији

2. ОПШТИ ДЕО

2.2. УВОД

Предмет процене ризика је пословни објекат "Дунав Центар" који заузима просторни локалитет у Зрењанину у улици Булевар Милутина Миланковића. Објекат је спратности Пр + 1, висина пода последње етаже је 3м висине. Објекат спада у групу пословних објеката. Дунав центар-објекат за технички преглед возила у Зрењанину, изграђен је 2003. У објекту је запослено 54 особа.

Функција објекта:

У приземљу постојећег објекта се налазе две групе просторија:

1. Прву групу просторија чине просторије за технички преглед возила:
 - Постојећа линија за возила преко 3,5 тона – теретни програм,
 - Радионица за поправку возила и замену стакала,
 - ПЦ Бреџон (канцеларија),
 - Мокри чвор за раднике (гардероба и туш кабина у оквиру мокрог чвора).
2. Другу групу просторија – административно пословни део чине пратеће канцеларије:
 - За пословницу (продају полиса, правника, и друго); припадајући санитарни чворови и кухиња. Нето површина приземља је 306,34 m², а бруто површина износи 358,00 m².
 - На првом спрату налазе се пословне просторије (канцеларије) са пратећим

санитарним простором и кафетеријом за запослене. Нето површина спрата је 185,41 m², а бруто површина износи 218,30 m².

Укупна нето површина објекта износи 491,75 m², а бруто површина је 576,30 m².

Опис објекта

Објекат је подигнут у скелетном носећем систему од армираног бетона. Стубови су повезани армирано-бетонским везним гредама, а зидови испуне су од гитер блока. Међуспратна конструкција у делу изнад пословних просторија је армирано бетонска полумонтажна таваница са спуштеним монтажним плафоном (на бази гипсаних негоривих плоча). Објекат је фундиран на армирано-бетонским темељним стопама које су повезане АБ темељним гредама.

Кровна конструкција је челична од решеткастих носача. Секундарни носачи (рожњаче) су такође од челичних профила који носе кровни покривач од „сендвич“ профилисаног алуминијумског лима са термо изолационом испуном.

Преградни зидови су од опеке и од гипс картонских плоча. Завршна обрада зидова је бојење полудисперзивним бојама преко глетованих површина. У појединим просторија (санитарним, технички преглед) постављене су керамичке плочице до одређене висине.

Подови у приземљу пословног дела објекта и свим санитарним просторијама су покривени керамичким плочицама, док у просторијама на спрату – канцеларијама, подови су од паркета лепљеног преко цементне кошуљице.

Целокупна браварија и столарија на објекту је од алуминијума. Застакљени део фасаде на пословном делу објекта је од алуминијумске лаке конструкције по систему полуструктуралне фасаде. Врата на улазу и излазу у простор за технички преглед возила, као и на улазу у радионицу су сегментна гаражна врата.

Класа повредљивости према EMC-98

Имајући у виду податке за предметни објекат о систему и квалитету градње (Дунав-центар поседује грађевинску и употребну дозволу), времену градње и да се објекат налази на простору са малим степеном сеизмичности, EMC-98 методологијом се може закључити да објекат припада типу D, односно да је у питању објекат АБ конструкције са рамовима уз висок степен асеизмичке градње.

Имајући у виду конструктивни систем и материјализацију објекта, може се закључити да су елементи изведени од негоривих материјала, са високим степеном отпорности према пожару, са изузетком челичне кровне конструкције која захтева неки вид пасивне заштите од пожара.

У оквиру овог рада изабрани су земљотреси као опасности за израду процене ризика од катастрофа.

3. ПОСЕБНИ ДЕО

3.1 ЗЕМЉОТРЕСИ

Земљотрес или потрес настаје услед померања тектонских плоча, кретања Земљине коре или појаве удара. Последица тога је подрхтавање тла због ослобађања велике енергије. Јачина потреса зависи од више чинилаца [5].

Насупрот распрострањеном уверењу да су то ретке појаве, земљотреси се дешавају врло често. На срећу, највећи број је слабијег интензитета који не изазива значајна оштећења. Земљотрес се не може предвидети, али се одговарајућим пасивним и активним мерама, последице од овог хазарда могу редуковати.

Интензитет земљотреса одражава рушилачки ефекат земљотреса на површини терена. Изражава се различитим скалама, најчешће Меркалијевом скалом од 12 степени. Магнитуда земљотреса, с друге стране, представља јединицу мере количине ослобођене енергије у хипоцентру, у жаришту земљотреса. Изражава се Рихтеровом скалом која нема горњу границу, али како до данас није забележен земљотрес јачине 10, обично се представља до 9 јединица [5].

Највероватнији нежељени догађај

За сценарио највероватнијег нежељеног догађаја, као опасност узима се земљотрес интензитета 5 степени MSC (Маркалијева скала).

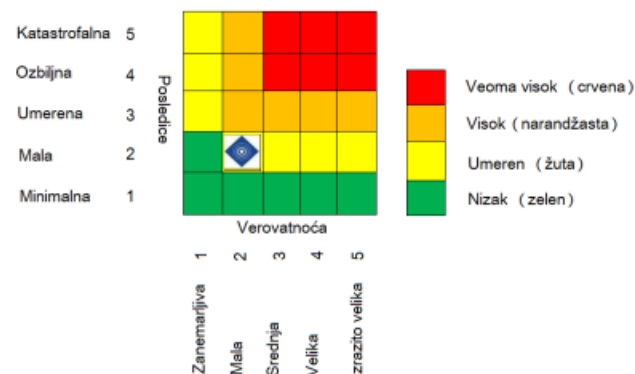
У поподневним часовима 07.02.2022. године долази до земљотреса интензитета 5 MSC који је погодио целу територију општине Зрењанин, у тренутку када се у објекту налази 20 особа. Подрхтавање тла траје 25 секунди. У првих 3 до 5 секунди запослени не реагују значајније. Тек након продужетка подрхтавања, почињу да напуштају објекат. Код једног дела присутних особа у објекту дошло је до појаве панике. Спроводи се евакуација запослених на безбедно место. Приликом напуштања 2 особе су задобиле лакше повреде, у виду огреботина, док је 1 особа повређена због панике приликом напуштања објекта у виду прелома и уганућа. Обавештене су хитне службе. Осталих 17 особа безбедно напуштају објекат. Долази до оштећења канцеларијског простора, плафона у ходнику и код преградних зидова.

Израда матрица ризика

Након анализе штићених вредности, утврђено је да је укупан утицај на живот и здравље 3 повређених и 17 евакуисаних лица. Укупни утицај на економију/екологију је 554.000,00 динара (2.77% буџета), док је утицај на критичну инфраструктуру укупно 100.000,00 динара (0.5% буџета). Процена учесталости овог догађаја је 1 догађај у 20 до 100 година (мала). Последице по живот и здравље људи су мале, последице по економију/екологију мале, а последице по критичну инфраструктуру минималне.

Израчунавањем свих вредности ризика штићених вредности добија се мали степен вероватноће (2), са

малим последицама (2). Укупан ризик, са овим параметрима је умерен.



Слика 3. Матрица укупног ризика за сценарио Ниво ризика

Помоћу Табеле 2., која приказује нивое ризика и начине поступања, може се дефинисати прихватљивост ризика:

Табела 2. Ниво и прихватљивост ризика

	Ниво ризика	Оцена ризика	Одабрано
	Умерен	прихватљив	

Како је укупан ризик, у оквиру сценарија за највероватнији нежељени догађај, умерен (прихватљив) – не постоји потреба за третманом ризика.

Нежељени догађај са најтежим могућим последицама

За сценарио нежељеног догађаја са најтежим могућим последицама, као опасност узима се земљотрес интензитета 7 степени MSC (Маркалијева скала).

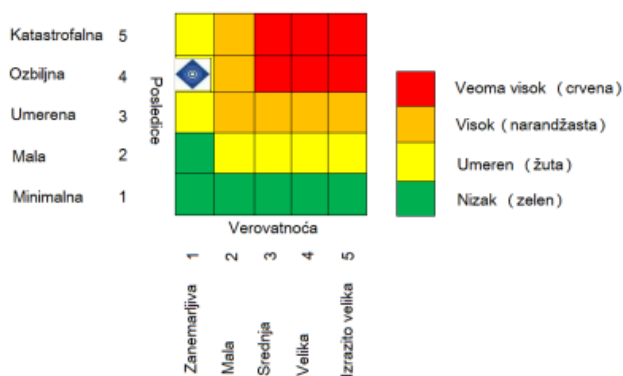
У поподневним часовима 07.02.2023. године долази до земљотреса интензитета 7 МСЦ који је погодио целу територију општине Зрењанин, у тренутку када се у објекту налази 54 особа. Подрхтавање тла траје 35 секунди. У првих 3 до 5 секунди запослени не реагују значајније. Тек након продужетка подрхтавања, почињу да напуштају објекат. Код свих особа у објекту дошло је до појаве панике. Спроводи се евакуација запослених на безбедно место. Приликом напуштања 9 особа су задобиле лакше повреде, у виду огреботина услед пада објеката са полица. Услед панике приликом евакуације, тј. гурања на степеништу приликом напуштања просторија долази до прелома код 3 особе, док је 1 особа смртно страдала услед урушавања дела плафона објекта. Обавештене су хитне службе. Осталих 41 особа безбедно напуштају објекат. Долази до оштећења канцеларијског простора, плафона у ходнику и код преградних зидова.

Израда матрица ризика

Након анализе штићених вредности, утврђено је да је укупан утицај на живот и здравље 1 смртни исход, 12 повређених и 41 евакуисаних лица. Укупни утицај на економију/екологију је 2.691.000,00 динара (13.46% буџета), док је утицај на критичну инфраструктуру укупно 220.000,00 динара (1.1% буџета). Процена учесталости овог догађаја је 1 догађај у 100 година и

ређе (занемарљива). Последице по живот и здравље људи су озбиљне, последице по економију/екологију катастрофалне, док су последице по критичну инфраструктуру умерене.

Израчунавањем свих вредности ризика штићених вредности добија се занемарљив степен вероватноће (1), са озбиљним последицама (4). Укупан ризик, са овим параметрима је умерен.



Слика 4. Матрица укупног ризика за сценаријо

Ниво ризика

Помоћу Табеле 3., која приказује нивое ризика и начине поступања, може се дефинисати прихватљивост ризика:

Табела 3. Ниво и прихватљивост ризика

Ниво ризика	Оцена ризика	Одабрано
Умерен	прихватљив	

Како је укупан ризик, у оквиру сценарија за нежељени догађај са најтежим могућим последицама, умерен (прихватљив) – не постоји потреба за третманом ризика.

4. ЗАКЉУЧАК

Земљотреси се сматрају једним од најопаснијих и најнепредвидљивијих природних хазарда, с обзиром на немогућност предвиђања и смањења ризика од њиховог настанка. У циљу максималне заштите, потребно је имплементирати активне и пасивне мере.

У случају прихватљивог ризика од земљотреса подразумева се предузимање превентивних мера:

- Вршити обуку запослених у циљу реализације што брже и ефикасније евакуације;
- Терет спустити на ниже етажe, а инвентар фиксирати за зидове како не би дошло до падања;
- Одржавати постојеће путеве евакуације и знакове евакуације;
- Упознавање запослених о могућим последицама и понашање приликом таквог догађаја;
- Именовати поверенике и заменике повереника цивилне заштите и њихова обука;
- Разрада плана заштите и спасавања у ванредним ситуацијама.

На основу сценарија за највероватнији нежељени догађај и нежељени догађај са најтежим могућим последицама и резултатима анализе ризика по сценаријима може се закључити да су ефекти по штићене вредности следећи: 1) паника запослених,

која има негативан утицај на ефикасност и безбедност евакуације, због недостатка практичног искуства за понашање у случају појаве земљотреса, што директно утиче на повреде запослених, 2) повреде и смртни исходи; 3) економска штета (трошкови обнове, санације и здравствено збрињавање запослених), и 4) штета по критичну инфраструктуру (водоводне инсталације).

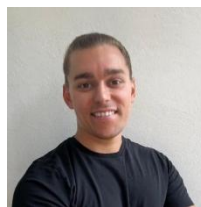
Као најефикаснија превентивна мера за смањење ризика потребно је вршити чешћу обуку брзе и ефикасне евакуације свих запослених и предлаже се инсталација рукохвата на самом степеништу између првог спрата и приземља, како би запослени могли безбедније да се евакуишу низ степенице у случају земљотреса и ради смањења ризика од пада и повреде запослених.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон о ванредним ситуацијама ("Сл. гласник РС", бр.111/2009,бр.92/2011,бр.93/2012)
- [2] Закон о смањењу ризика од катастрофа и управљању ванредним ситуацијама ("Сл. гласник РС", бр.87/2018)
- [3] Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама ("Сл. гласник РС", бр. 96/2012)
- [4] Методологија израде и садржај процене ризика од катастрофа и плана заштите и спасавања ("Сл. Гласник РС", бр.80/2019)
- [5] Министарство унутрашњих послова – Сектор за заштиту и спасавање – презентација савети грађанима о земљотресима: [Sektor za zaštitu i spasavanje \(mup.gov.rs\)](http://mup.gov.rs)
- [6] Материјал за наставу са предмета „Планови заштите и спасавања”, Проф. др Мирјана Лабан, Доц. ДрСлободанШупић.
- [7] European Macroseismic Scale 1998, Едитор: G. Grunthal.
- [8] Министарство унутрашњих послова – Процена ризика од катастрофа у Републици Србији.

Кратка биографија:

Алекса Милошевић рођен је 2000. године, у Зрењанину. У Зрењанину је завршио основну и средњу електротехничку школу „Никола Тесла“. Факултет техничких наука у Новом Саду уписује 2019. године, на смеру Управљање ризиком од катастрофалних догађаја и пожара. Дипломски рад одбранио је 2023. године, а мастер рад брани 2024. године.



Слободан Шупић рођен је 1989. године у Требињу у БиХ. Од 2013. године запослен је на Факултету техничких наука, а од 2020. ради као доцент на Департману за грађевинарство и геодезију, ужа научна област: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција.



UDK: 624.01

DOI: <https://doi.org/10.24867/31NU03Milosevic>

ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ПОЖАРА КЛИНИЧКОГ ЦЕНТРА ВОЈВОДИНЕ НА МИШЕЛУКУ**FIRE RISK ASSESSMENT OF CLINICAL CENTER OF VOJVODINA IN MIŠELUK**

Далибор Стојилковић, Слободан Шупић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ ОД КАТАСТРОФАЛНИХ ДОГАЂАЈА И ПОЖАРА –

Кратак садржај: У оквиру мастер рада "Процена ризика од пожара Клиничког Центра Војводине на Мишелуку" представљена је процена ризика од пожара за наведени субјекат. Поступак процењивања и садржај процене усаглашени су са Упутством о методологији за израду процене ризика и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама. У истраживачком делу рада, дат је увид у осетљивост објеката здравственог система на пожаре.

Кључне речи: Процена ризика од пожара и експлозија, методологија, здравствене установе, управљање ризиком.

Abstract:

Within the masters thesis 'Disaster risk assessment of Clinical Center Of Vojvodina in Mišeluk', the fire risk assessment for the mentioned entity is presented. The assessment procedure and the content of the assessment are in accordance with the instruction on the methodology for developing risk assessments and protection and rescue plans in emergency situations. In the research part of the paper, an insight into the vulnerability of health system facilities to fire was given.

Keywords: Disaster risk assessment, fires and explosions, methodology, health facilities, risk management

1. УВОД

Катастрофа је елемент непогода или догађаја који својом величином, интензитетом и неочекиваностју угрожава здравље људи и животе људи, материјална добра и животну средину, а чији настанак није могуће спречити или отклонити редовним деловањем надлежних служби.

Пожар представља процес неконтролисано сагоревање који се одвија у одређеном простору и времену који се јавља када дође до испуњавања следећих услова:

- Постојање гориве материје
- Непрекидан доток кисеоника у зони пожара,
- Извор паљења, тј енергија која ће се изазвати паљење и ослобађање топлотне енергије.

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада, чији је ментор др Слободан Шупић, доцент.

Приликом пројектовања и изградње објеката, који се граде према закону који уређује област планирања и изградње морају се обезбедити основни захтеви заштите од пожара, тако да се у случају пожара:

- Очува носивост конструкције током одређеног времена,
- Спречи ширења ватре и дима унутар објекта,
- Спречи ширење ватре и дима на суседне објекте и
- Омогући сигурна и безбедна евакуација људи, односно њихово спасавање.

Процена ризика је утврђивање природе и степена ризика од потенцијалне опасности, стања угрожености и последица које могу да угрозе живор и здравље људи, животну средину и материјална и културна добра.

Смањење ризика од катастрофа је политика која се успоставља и води у циљу спречавања нових и смањење постојећих ризика кроз имплементацију интегрисаних и инклузивних економских социјалних, едукативних, нормативних, здравствених, културних, технолошких, политичких и институционалних мера којима се јача отпорност и припремљеност заједнице за одговор и ублажавање последица од насталих катастрофа чиме се постиже јачање отпорност заједнице.

У оквиру овог мастер рада, урађена је процена ризика од катастрофа у ванредним ситуацијама за Клинички центар Војводине на Мишелуку.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПАСНОСТИ И ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ПОЖАРА

Проценом ризика од елементарних непогода и других несрећа се идентификују врста, карактер и порекло појединих ризика од наступања катастрофа, степен угрожености, фактори који их узрокују или увећавају степен могуће опасности, последице које могу наступити по живот и здравље људи, животну средину, материјална и културна добра, обављање јавних служби и привредних делатности. Процена садржи описе свих сценарија који се базирају на референтним догађајима за све опасности које су идентификоване.

У оквиру овог рада изабране су пожари и експлозије, као и пожари на отвореном за израду процене ризика од катастрофа

3. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О УСТАНОВИ

Клинички центар Војводине (КЦВ) је здравствена установа терцијарног нивоа која пружа

специјализоване здравствене услуге. Комплекс Болнице Мишелук, део овог центра, налази се у Петроварадину, недалеко од Новог Сада. Болница је стратешки лоцирана у близини важних саобраћајница, што олакшава приступ хитним службама. Комплекс обухвата више објеката, укључујући зграде за полуинтензивну и интензивну негу, као и пратеће објекте као што су котларница и магацин.

Укупна површина објеката је велика и објекти су међусобно повезани топлим везама, чиме је омогућено несметано функционисање унутар целог комплекса. Поред пружања здравствених услуга, болница има и научноистраживачку и образовно-наставну делатност. Инфраструктура болнице укључује интерне саобраћајнице, паркинг простор и хидрантске мреже, као и комплетну инсталацију за напајање медицинских гасова, што је од виталног значаја за правилно функционисање установе.



Слика 1. Комплекс Болнице Мишелук

Конструктивна концепција објекта базирана је на префабрикованим армиранобетонским стубовима, монтираним у префабрикованим бетонским чашицама. Темељне траке су од армираног бетона, ливене на лицу места. Префабриковане армиранобетонске монтажне греде као секундарни конструктивни елементи носе лаке префабриковане ошупљене таванице. Преко међуспратних таваница излива се слој монолитизације од 6-10cm. Конструктивни зидови ступенишног простора и лифтовских језгра такође су од армираног бетона ливени на лицу места. Имајући у виду ову материјализацију и елементе, може се констатовати да је објекат изведен од негоривих материјала, али да се пажљивим извођењем и детаљима (армирање, заштитни малтери и премази, пожарно прекидно растојање на фасади, и слично) морају обезбедити сви услови за спречавање развоја и ширења пожара.

3.1 Енергетска инфраструктура

Енергетска инфраструктура у Болници Мишелук укључује трансформаторску станицу, дизел-електрични агрегат и котларницу. Трансформаторска станица је нова, модерно пројектована, и омогућава стабилно снабдевање електричном енергијом. У случају прекида напајања, болница користи дизел агрегат који има капацитет за осмочасовни рад, што омогућава непрекидно функционисање критичних система као што су лифтови и системи за снабдевање медицинским гасовима. Котларница болнице користи

природни гас и лако лож уље за снабдевање топлотом. Ово обезбеђује сигурно и поуздано грејање током целе године. За медицинске гасове постоји централна станица која обезбеђује кисеоник, азот и компримовани ваздух неопходан за медицинске интервенције. Ови системи су кључни за безбедност пацијената и нормално функционисање болнице у случају било каквих неочекиваних прекида. Унутар болнице постоје унутрашњи и спољашњи хидранти као мера заштите од пожара, што додатно доприноси нивоу сигурности објекта.

3.2 Критична инфраструктура

Критична инфраструктура болнице укључује медицинске системе, саобраћајне путеве и телекомуникације. Комплекс је опремљен са две главне улазне тачке за ватрогасна возила, чиме је омогућен брз приступ у случају пожара. Болница је прикључена на градски водовод и има резервну снагу за водоснабдевање, што омогућава континуитет рада у случају хитне потребе.

У објекту постоји кухиња која снабдева пацијенте и запослене храном, што је важно за свакодневно функционисање болнице. Телекомуникациони систем укључује фиксне линије, мобилну телефонију и радио везу.

Тakoђе, болница има систем за детекцију и дојаву пожара који омогућава брзу реакцију у случају избијања пожара. Уграђени системи за вентилацију и климатизацију, заједно са напредним мерама за одвод дима, додатно осигуравају безбедност људи и имовине. Централна станица за медицинске гасове обезбеђује стабилно снабдевање кисеоником, који је виталан за пацијенте у критичном стању.

4. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПАСНОСТИ И ПРОЦЕНА РИЗИКА

Процена идентификује могуће опасности које могу угрожавати болницу, укључујући земљотрес, пожар, поплаве и технолошке несреће. Највећи ризик представља пожар, посебно у просторијама где се складишти запаљив материјал. Болница је категорисана у другу категорију угрожености од пожара, што захтева сталне мере превенције и спремност на брзу реакцију. Унутрашњи системи за детекцију и дојаву пожара омогућавају брзу интервенцију у случају избијања пожара.

Процена је такође узела у обзир могућност земљотреса, који би могао да оштети инфраструктуру, али болница је пројектована тако да издржи умерене земљотресе без већих оштећења.

Мере заштите од пожара укључују редовну обуку запослених, одржавање опреме и тестирање система за дојаву пожара. Одређени су и простори за евакуацију пацијената у случају потребе, што је од виталног значаја за безбедност људи.

4.1 Сценарији развоја нежељених догађаја

Два сценарија су развијена: један за највероватнији нежељени догађај и други за најтежи могући догађај. Највероватнији нежељени догађај је мањи пожар

током реконструкционих радова, где је брза реакција дежурног ватрогасца и запослених спречила ширење пожара. У овом сценарију, штета је минимална и ризик је прихватљив.

Други сценарио, са најтежим последицама, укључује велики пожар у магацину, где је због одлагања запаљивог материјала дошло до неконтролисаног ширења пожара. У овом случају, штета је значајна и захтева сложене интервенције ватрогасних бригада.

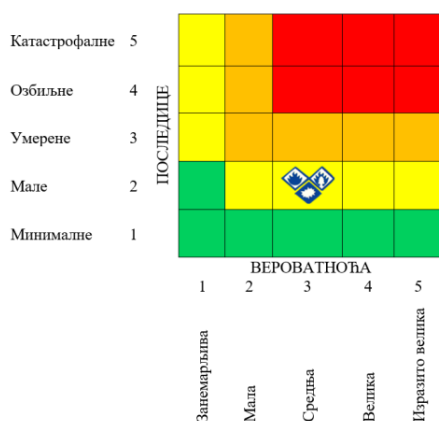
4.2 Највероватнији нежељени догађај

За сценарио највероватнијег нежељеног догађаја, као опасност обрађује се мали пожар у поткровљу интерне клинике, где су се изводили радови на реконструкцији.

У Болници Мишелук, у поткровљу Интерне клинике изводили су се радови на реконструкцији једног дела објекта. Пожар се догодио, дана 5. априла 2025. у 13:45 часова. На делу где су се изводили радови, складиштен је материјал у картонским кутјама. Приликом сечења, искра је неконтролисано пала у картонске кутије. На том делу објекта су јављачи пожара покривени заштитном капом и искључена је петља на ПП централни. Радници су изашли на паузу, а са њима је изашао и дежурни ватрогасцац. Приликом доласка приметили су да је у просторији пуно дима и кутије су се запалиле. Ватрогасцац је одмах разбио ручни јављач те су се огласиле сирене, а централа одмах послала извршне функције. Цела зграда се евакуисала и за то време су дежурни ватрогасцац и радници који су радили са апаратима за почетно гашење пожара угасили пожар.

Израда матрица ризика

Након анализе утицаја на штићене вредности, а узимајући у обзир референтне вредности за пожаре у истим или сличним установама у SAD, утврђено је да је укупан утицај на живот и здравље озбиљан, иако није дошло до повређивања и смрти лица.



Слика 4. Матрица укупног ризика за сценарију

Укупни утицај на економију/екологију је 85.000,00 динара (0,04% буџета), док је утицај на критичну инфраструктуру миноран. Процена учесталости овог догађаја је 1 догађај годишње (изразито велика учесталост). Последице по живот и здравље људи су озбиљне, по економију/екологију мале, док је утицај по критичну инфраструктуру такође мали.

Израчунавањем свих вредности ризика штићених вредности добија се средњи степен вероватноће (3), са малим последицама (2). Укупан ризик, са овим параметрима је умерен.

Ниво ризика

Помоћу Табеле 3., која приказује нивое ризика и начине поступања, може се дефинисати прихватљивост ризика:

Табела 3.: Ниво и прихватљивост ризика

Ниво ризика	Оцена ризика	Одабрано
Умерен	прихватљив	

Укупан ризик, у оквиру сценарија за највероватнији нежељени догађај је умерен (прихватљив) – не постоји потреба за третманом ризика.

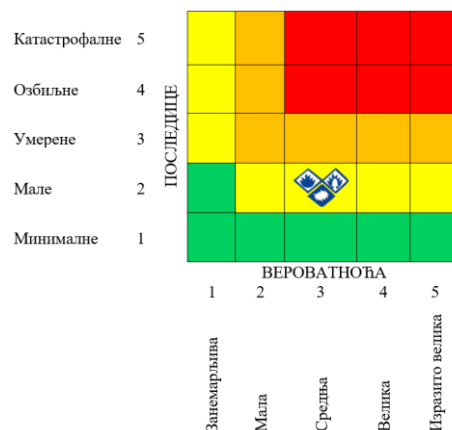
4.3 Нежељени догађај са најтежим могућим последицама

Дана 12. јула 2028. у 23:25 часова, у магацину болнице Мишелук дошло је до пожара услед остављеног опушка у смеђу. Дежурни ватрогасцац је, након активирања аларма, покушао да угаси пожар, али није успео, те је позвао ватрогасну бригаду. Пожар се проширио када су отворена врата магацина, али је успешно локализован након 90 минута. У тренутку пожара није било никога у магацину, док су пацијенти и особље из клинике поред били евакуисани. Ватрогасна бригада стигла је за 14 минута и пожар је угашен без повређених.

Израда матрица ризика

Након анализе штићених вредности, утврђено је да је укупан утицај на живот и здравље 34 евакуисаних лица. Укупни утицај на економију/екологију је миноран, док је утицај на критичну инфраструктуру процењен на 904.980,00 динара (0,52% буџета).

Процена учесталости овог догађаја је 1 догађај годишње (изразито велика учесталост). Последице по живот и здравље људи су минималне, последице по економију/екологију минималне, док су последице по критичну инфраструктуру занемариве - нема их. Израчунавањем свих вредности ризика штићених вредности добија се средњи степен вероватноће (3), са малим последицама (2). Укупан ризик, са овим параметрима је умерен.



Слика 5. Матрица укупног ризика за сценарију

Ниво ризика

Помоћу Табеле 4., која приказује нивое ризика и начине поступања, може се дефинисати прихватљивост ризика:

Табела 4.: Ниво и прихватљивост ризика

	Ниво ризика	Оцена ризика	Одабрано
	умерен	прихватљив	

Утврђен ниво ризика, у случају пожара за описан сценарио са нежељеним догађајем са најтежим могућим последицама, је умерен. Имајући у виду ниво, ризик се оцењује као прихватљив, односно не захтева се третман ризика, али може да се предложи употреба неких радњи у циљу смањења ризика на најмањи могући ниво и његово задржавање у прихватљивом статусу.

4.4 Третман ризика

Пожари могу бити значајно редуковани кроз пасивне и активне мере, чиме се штити живот и здравље људи. Важно је редовно ажурирати планове заштите од пожара и организовати обуке за запослене.

Путеве за евакуацију и знаке треба одржавати проходним и видљивим, а опрему за заштиту од пожара треба редовно сервисирати.

Забрањено је складиштење запаљивих материјала у ризичним просторијама и неопходно је ограничити приступ у просторије са повишеним ризиком.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом мастер раду је у оквиру сценарија приказан утицај пожара, као опасности на Клинички центар Војводине на Мишелуку.

Процена ризика за Болницу Мишелук показала је да је ризик од пожара низак и прихватљив ако се примењују одговарајуће превентивне мере. Потребно је стално унапређивати систем заштите од пожара, редовно ажурирати планове и одржавати опрему у исправном стању.

Анализа сценарија показала је да је у случају најтежих последица потребно унапредити обуку запослених и увести додатне мере безбедности. Ово укључује континуирану едукацију, сервисирање опреме и тестирање система за дојаву и гашење пожара. На тај начин, болница ће бити у могућности да благовремено реагује и спречи настанак већих штета или губитака живота.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Упутство о Методологији за израде и садржају процене ризика од катастрофа и плана заштите и спасавања ("Сл. гласник РС", бр. 80/2019).
- [2] Закон о смањењу ризика од катастрофа и управљању ванредним ситуацијама („Сл. Гласник РС“, бр. 87/2018)
- [3] Лабан, Шупић – Наставни материјал са предавања из предмета: „Планови заштите и спасавања“
- [4] Закон о заштити од пожара („Сл. гласник РС“, бр. 111/2009, 20/2015, 87/2018 и 87/2018 – др. закони)

- [5] Правилник о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене („Сл. гласник РС“, бр. 22/2019)
- [5] Главни пројекат ЗОП за Клинички центар Војводине Мишелук.

Кратка биографија:

Далибор Стојилковић рођен је 1980 године, у Зрењанину. У Книћанину је завршио основну школу, а средњу пословно менаџерску школу у Новом Саду, „Економски техничар“. Факултет „Едуконс“ у Новом Саду, уписује 2015. године, на смеру „Студије за безбедност“. Дипломски рад одбранио је 2019. године. На Факултет техничких наука уписује мастер рад из области Инжењерство управљања ризиком од катастрофалних догађаја и пожара брани 2024. године.



Слободан Шупић рођен је 1989. године у Требињу у БиХ. Од 2013. године запослен је на Факултету техничких наука, а од 2020. ради као доцент на Департману за грађевинарство и геодезију, ужа научна област: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција.



UDK: 005.334:614.75

DOI: <https://doi.org/10.24867/31NU04Stojilkovic>

**UTICAJ INTEGRACIJE E-FAKTURA SA ERP SISTEMOM NA PRIVREDU
REPUBLIKE SRBIJE****THE IMPACT OF INTEGRATING E-INVOICES WITH ERP SYSTEM ON THE
ECONOMY OF THE REPUBLIC OF SERBIA**

Selena Delčev, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – INŽENJERSTVO INFORMACIONIH
SISTEMA**

Kratak sadržaj – Digitalizacija poslovanja pokreće ekonomski razvoj, posebno u okviru globalne konkurentnosti. Uvođenjem e-faktura, Srbija postavlja temelje za transparentnije poslovanje i usklađivanje sa evropskim standardima. Integracija e-faktura sa ERP sistemima doprinosi optimizaciji kroz automatizaciju, standardizaciju i kontrolu finansijskih transakcija. Kroz analizu najbolje prakse iz zemalja Evropske unije, rad ukazuje na potencijalne koristi za mala i srednja preduzeća u Srbiji, kojima sistem e-faktura može obezbediti uštede i unaprediti poslovnu transparentnost. Rezultati istraživanja naglašavaju ulogu ERP sistema kao temelja za digitalnu transformaciju, čime se povećava konkurentnost privrede Republike Srbije na međunarodnom tržištu.

Ključne reči: E-faktura, ERP, Digitalizacija, Automatizacija, Standardizacija, Transparentnost, MSP, Konkurentnost, Evropski standardi, Privreda Srbije

Abstract – Digitization of business drives economic development, especially in the context of global competitiveness. By introducing e-invoices, Serbia is laying the foundations for more transparent business operations and harmonization with European standards. Integration of e-invoices with ERP systems contributes to optimization through automation, standardization and control of financial transactions. Through the analysis of the best practices from the countries of the European Union, the work indicates the potential benefits for small and medium-sized enterprises in Serbia, for which the e-invoice system can provide savings and improve business transparency. The research results emphasize the role of the ERP system as a foundation for digital transformation, which increases the competitiveness of the economy of the Republic of Serbia on the international market.

Keywords: E-invoice, ERP, Digitization, Automation, Standardization, Transparency, SMEs, Competitiveness, European standards, Economy of Serbia

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Darko Stefanović, red. prof.

1. UVOD

Digitalizacija poslovnih procesa postaje osnova ekonomskog razvoja i ključna prilika za unapređenje efikasnosti i transparentnosti u poslovanju. Srbija je uvođenjem elektronskih faktura (e-faktura) započela modernizaciju poslovanja, koja omogućava usklađivanje sa evropskim standardima i jača konkurentnost domaće privrede. Elektronsko fakturisanje, pored ubrzavanja finansijskih transakcija, ima i važnu ulogu u borbi protiv sive ekonomije i unapređenju poreske kontrole. Motivacija za ovaj rad proističe iz potrebe da se razumeju načini na koje savremeni digitalni alati mogu poboljšati poslovne procese u Republici Srbiji. U tom kontekstu, sistemi kao što su e-fakture i sistemi za podršku planiranju poslovnih resursa (engl. *Enterprise Resource Planning* – ERP) igraju ključnu ulogu. ERP sistemi predstavljaju softverska rešenja koja integrišu poslovne funkcije, poput finansija, nabavke, proizvodnje i ljudskih resursa, u jedinstvenu platformu. Kroz integraciju e-faktura sa ERP sistemima, preduzeća mogu unaprediti poslovne procese automatizacijom obrade faktura, smanjiti rizik od grešaka i olakšati praćenje finansijskih transakcija u realnom vremenu. ERP sistemi se sve više koriste u modernim preduzećima radi optimizacije upravljanja resursima i procesima. S druge strane, e-fakture su postale obavezan deo poslovanja, što nameće potrebu za njihovom integracijom u postojeće sisteme radi maksimalnog ostvarivanja koristi. U ovom radu je sproveden sistemski pregled literature (engl. *Systematic Literature Review* - SLP) kako bi se pružio sveobuhvatan pregled trenutnih praksi i iskustava zemalja Evropske unije (EU) u primeni e-faktura. SLP metodologija omogućava detaljnu analizu koristi i izazova integracije e-faktura sa ERP sistemima u Srbiji, sa posebnim fokusom na mala i srednja preduzeća (MSP). Kroz identifikovanje najboljih evropskih praksi, rad istražuje načine na koje bi Srbija mogla unaprediti svoj sistem e-faktura i podržati poslovno okruženje u kojem digitalna transformacija omogućava efikasniju i transparentniju privredu. Rad je organizovan u nekoliko poglavlja. Uvodno poglavlje pruža pregled važnosti e-faktura i ERP sistema u kontekstu digitalizacije. Drugo poglavlje objašnjava metodologiju SLP-a, koja je korišćena za prikupljanje podataka o primeni e-faktura u evropskim zemljama. U trećem poglavlju analiziraju se rezultati istraživanja i daju odgovori na postavljena istraživačka pitanja. Zaključci i preporuke dati su u poslednjem poglavlju, sa ciljem unapređenja primene e-faktura i podrške daljoj digitalizaciji poslovnih procesa u Srbiji.

2. PREGLED STANJA U OBLASTI

U ovom poglavlju biće prikazan detaljniji uvid u protokol koji je vođen tokom pregleda literature. Ovaj deo obuhvata postavljene ciljeve istraživanja, istraživačka pitanja, kao i kriterijume za filtriranje podataka kako bi se dobili radovi relevantni za datu temu.

2.1. Ciljevi istraživanja

Cilj ovog istraživanja je da se oceni položaj i razvoj srpske privrede u odnosu na evropske zemlje, kao i da se identifikuju smernice koje bi Srbija mogla da primeni radi unapređenja svog sistema e-faktura.

2.2. Istraživačka pitanja

Istraživačka pitanja koja su razmatrana tokom pregleda literature su:

IP1: Kakav je uticaj implementacije e-faktura na smanjenje poreskih prevara?

IP2: Koji su glavni izazovi sa kojima se MSP suočavaju prilikom usvajanja e-faktura i kako njihovo prevazilaženje može doprineti poslovnoj efikasnosti?

IP3: Koliko je bitan podsticaj države za usvajanje e-faktura i koliko to može ubrzati prihvatanje takvog sistema među preduzećima?

IP4: Kako integracija e-faktura sa ERP sistemom može doprineti unapređenju poslovnih procesa?

2.3. Strategija pretrage

Za pronalaženje relevantnih izvora, sprovedena je sistematska pretraga u *Scopus* indeksnoj bazi podataka. Strategija pretrage bila je usmerena na identifikovanje radova koji pružaju sveobuhvatan u primenu i implementaciju e-faktura. Strategija pretrage bila je usmerena na identifikovanje radova koji pružaju sveobuhvatan uvid u primenu i implementaciju e-faktura. Kako je fokus istraživanja na različitim aspektima e-faktura, uključujući njihov uticaj na MSP, integraciju sa ERP sistemima, kao i uticaj na poresku politiku, primenjen je napredni uput sa ključnim terminima kao što su *e-invoice*, *electronic invoicing* i *e-invoicing* kako bi se obuhvatili svi sinonimi i varijante termina koji se odnose na e-fakture.

2.4. Kriterijumi selekcije radova

Kriterijumi inkluzije (kriterijumi prihvatanja), primenjeni prilikom obrade inicijalno dobijenih radova, su:

1. Rad mora biti objavljen u periodu od 2014. do 2024. godine, kako bi se obuhvatio razvoj e-faktura od početne implementacije u EU.
2. Rad mora biti objavljen kao naučni članak ili kao rad sa konferencije.
3. Rad mora biti objavljen na engleskom jeziku.

Kriterijumi ekskluzije (kriterijumi odbacivanja) koji su primenjeni prilikom čitanja radova su sledeći:

1. Rad mora da se odnosi na primenu e-faktura u evropskim zemljama. Fokus ovog istraživanja je na analizi iskustava evropskih zemalja u implementaciji e-faktura, kako bi se obezbedila

relevantnost za poređenje sa situacijom u Srbiji. Shodno tome, radovi koji se odnose na zemlje van Evrope nisu uzeti u obzir.

2. Rad mora da se odnosi na praktičnu primenu e-faktura, ne samo na opšte definicije ili teorijske aspekte. Cilj ovog istraživanja je analiza stvarnih iskustava u implementaciji e-faktura, te su radovi sa isključivo uopštenim informacijama o e-fakturama izostavljeni.

2.5. Proces pretrage radova

U skladu sa prethodno definisanim protokolom, sproveden je proces pretrage literature kroz nekoliko faza. Početna pretraga u *Scopus* bazi identifikovala je 246 radova koji se odnose na e-fakture, korišćenjem relevantnih ključnih termina. Radovi objavljeni pre 2014. godine su eliminisani, što je smanjilo broj radova za 87. Zatim, zadržani su samo naučni članci i radovi sa konferencija, a 24 rada drugog tipa su uklonjena. Radovi na jezicima osim engleskom su odbačeni, što je rezultiralo eliminacijom 16 radova, ostavljajući 119 radova za detaljniji pregled. Nakon eliminisanja radova na osnovu kriterijuma inkluzije, sledeća faza je podrazumevala čitanje apstrakata. U ovoj fazi je odbačeno 41 rad zato što se nisu fokusirali na evropsku primenu e-faktura ili uopšte nisu obuhvatili praktičnu primenu. Nakon toga, pokušao je pristup ostatku radova i u toj fazi je odbačeno 32 rada zato što nisu bili dostupni besplatno. Od preostalih radova, nakon detaljne analize teksta, 72 rada su odbačena zbog neprikladnosti za istraživanje. Na kraju je prihvaćeno 15 radova koji zadovoljavaju sve kriterijume i koji će se koristiti za dalju analizu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju detaljno su analizirani rezultati pregleda literature u odnosu na ranije definisana istraživačka pitanja.

IP1: Kakav je uticaj implementacije e-faktura na smanjenje poreskih prevara?

Primarni cilj implementacije sistema e-faktura je borba protiv poreskih prevara, prvenstveno kroz povećanje transparentnosti i praćenje finansijskih transakcija [16]. Jedan od najboljih primera ovakvog uticaja dolazi iz Italije, gde je uvođenje e-faktura za sve vrste transakcija značajno smanjilo poreski jaz. Italija je prva zemlja u Evropi koja je uvela sistem e-faktura za sve vrste transakcija. Postepeno je uvodila obavezno e-fakturisanje, počevši od javnih institucija 2014. godine, a kasnije proširivši na privatni sektor 2019. godine. U Italiji, sistem e-faktura pod nazivom *Sistema di Interscambio* [1], omogućava doslednu validaciju svih e-faktura, jer su sve fakture kreirane u *FatturaPA* formatu. Standardizacija pomaže u smanjenju mogućnosti za manipulacije i lažno prikazivanje podataka, jer svi podaci prolaze kroz automatske kontrole, čime se osigurava tačnost i usklađenost poreskih prijava. Nasuprot tome, Nemačka se suočava sa značajnim izazovima zbog nedostatka standardizacije [2]. Nemačke federalne države koriste različite formate i kanale za slanje e-faktura, što znači da kompanije moraju prilagoditi svoje fakture prema različitim pravilima, što povećava administrativne poslove i složenost fakturisanja. To ne samo da povećava

troškove, već i rizik od grešaka, što se može odraziti na tačnost poreskih prijava i efikasnost praćenja PDV-a. Srbija takođe koristi standardizovani sistem elektronskih faktura (SEF) koji omogućava doslednu validaciju podataka, slično kao Italija [3].

IP2: Koji su glavni izazovi sa kojima se MSP suočavaju prilikom usvajanja e-faktura i kako njihovo prevazilaženje može doprineti poslovnoj efikasnosti?

Sektor MSP je ključan za razvoj ekonomije bilo koje zemlje jer čine preko 90% svih preduzeća [4]. Međutim, kod takvih preduzeća se javlja izazov prilikom usvajanja digitalnih rešenja kao što su e-fakture. U slučaju Grčke, brojna mala preduzeća odložila su usvajanje sistema e-faktura zbog visokih inicijalnih troškova potrebnih za nabavku softvera i opreme [5]. Takođe, u Belgiji je procenjeno da uvođenje e-faktura može dovesti do značajnog smanjenja administrativnih troškova, ali mnoge kompanije nisu spremne da investiraju u ovu infrastrukturu zbog početnih troškova ulaganja od oko 2.380 evra po preduzeću, iako potencijalna ušteda za malo preduzeće na godišnjem nivou iznosi oko 7.000 evra [6]. U radu iz Španije je ukazano da je nedostatak finansijske podrške jedan od razloga sporog usvajanja e-faktura, naročito među manjim preduzećima koja nemaju razvijenu IT infrastrukturu [7]. Nedovoljna upućenost i nedostatak tehničke stručnosti predstavljaju značajan izazov za MSP. Rad iz Slovenije pokazuje da veliki deo mikro i malih preduzeća još uvek nije digitalizovan i da se oslanjaju na tradicionalne forme fakturisanja, poput papirnih ili PDF faktura [8]. Ovo značajno otežava usvajanje e-faktura jer zahteva značajna ulaganja u IT infrastrukturu, što ova preduzeća često nisu u mogućnosti da obezbede. Radovi iz Portugala i Grčke takođe pokazuju da je manjak obuka za korisnike jedan od glavnih razloga zašto se e-fakture ne implementiraju u punoj meri. Ovaj nedostatak stručnosti često rezultira greškama u procesu i povećava otpor prema usvajanju [9]. Mala preduzeća često imaju otpor prema promenama, naročito kada su u pitanju značajne promene poslovnih procesa koje zahtevaju investicije i dodatne napore [10]. Italija je primer gde je postepeno uvođenje e-fakturiranja, kroz promene u fazama uz objašnjavanje prednosti i podsticaje za korišćenje e-faktura, bilo ključno za uspešno usvajanje. Otpor prema promenama se najčešće javlja zbog straha od nepoznatog i nedostatka jasnih informacija o prednostima novog sistema.

IP3: Koliko je bitan podsticaj države za usvajanje e-fakturai koliko to može ubrzati prihvatanje takvog sistema među preduzećima?

Uspešno usvajanje e-faktura zavisi od mnogih faktora, među kojima državna podrška igra značajnu ulogu, posebno za sektor MSP. Troškovi digitalizacije, nedostatak tehničkog znanja i dodatni administrativni teret predstavljaju prepreke za mnoge male firme. Državne inicijative poput subvencija i poreskih olakšica pomažu u ublažavanju tih barijera. Italija se pokazala kao uspešan primer, gde su državne subvencije omogućile preduzećima da lakše prebrode početne troškove uvođenja e-faktura. Jedna od najvažnijih strategija jeste uloga države kao „prvog kupca“ (engl. *launching customer*), gde je kroz obavezno korišćenje e-faktura u B2G

(*Business to Government*) transakcijama država osigurala da kompanije, koje žele da posluju sa javnim sektorom, moraju koristiti ovaj sistem [11]. Ovaj pristup motiviše i širi privatni sektor na usvajanje e-faktura, jer kompanije koje koriste sistem za javne nabavke često prelaze na e-fakture i u privatnim transakcijama radi lakšeg upravljanja poslovnim procesima. Dodatno, Portugal i Grčka uložili su značajne napore u obuke malih preduzeća kroz seminare i radionice, olakšavajući im prilagođavanje novim tehnologijama. Besplatan pristup e-fakturama predstavlja još jedan važan podsticaj. Na primer, Italija je obezbedila nacionalnu platformu za e-fakture koja je dostupna bez ograničenja svim preduzećima, čime je značajno povećana dostupnost ovog sistema. S druge strane, zemlje poput Slovenije i Portugala omogućavaju ograničen besplatan pristup platformama, što može predstavljati izazov za preduzeća sa većim obimom transakcija, što predstavlja sledeći korak u unapređenju digitalnog fakturisanja u zemlji.

IP4: Kako integracija e-faktura sa ERP sistemom može doprineti unapređenju poslovnih procesa?

Iako e-fakturisanje kao samostalan sistem donosi značajne prednosti, njegovo povezivanje sa ERP sistemima omogućava dodatnu optimizaciju poslovnih procesa [14]. Integracijom e-faktura sa ERP sistemima, preduzeća postižu visok nivo automatizacije, gde se čitav proces fakturisanja, od prijema i kreiranja do praćenja i arhiviranja, odvija bez potrebe za ručnim unosom podataka [15]. Ovo smanjuje rizik od grešaka, ubrzava obradu faktura i poboljšava koordinaciju između različitih poslovnih funkcija. Standardizacija podataka je još jedan ključni aspekt integracije, jer omogućava da sve fakture budu ujednačene i lako proverljive. Standardizovani podaci omogućavaju automatsko usklađivanje faktura sa narudžbenicama i prijemnim listovima, što smanjuje mogućnost grešaka i povećava tačnost pre nego što se izvrši plaćanje. Transparentnost finansijskih tokova koja proizlazi iz ERP integracije olakšava menadžmentu upravljanje resursima, omogućavajući bolji uvid u poslovne tokove i brže donošenje odluka [12]. Ovaj stepen transparentnosti doprinosi i smanjenju poreskog jaza, što je od velike važnosti za regulatornu usklađenost i smanjenje sive ekonomije. S obzirom na visoke troškove implementacije i održavanja ERP sistema, mnoge male kompanije biraju pristupačnija rešenja kao što su *cloud* ERP sistemi. *Cloud* ERP omogućava MSP da koriste sve prednosti ERP-a kroz mesečne ili godišnje pretplate, bez potrebe za velikim početnim ulaganjima. Na ovaj način MSP lakše sprovede digitalnu transformaciju i osiguravaju dugoročnu održivost i konkurentnost na tržištu [13].

4. ZAKLJUČAK

Sistem e-faktura, kao alat za praćenje i upravljanje finansijskim transakcijama, pokazao je značajan potencijal za smanjenje poreskih prevara i jačanje poreske usklađenosti, koji potvrđuju primeri iz drugih evropskih zemalja. Kada se e-fakture integrišu sa ERP sistemima, dolazi do značajne automatizacije i standardizacije poslovnih procesa. Na ovaj način, ERP sistemi ne samo da smanjuju administrativne troškove, već omogućavaju bolji nadzor nad finansijskim tokovima u realnom

vremenu, čime se povećava tačnost podataka i smanjuje rizik od grešaka. Takva integracija donosi značajne prednosti za sektor MSP, omogućavajući im digitalnu transformaciju kroz uštede i povećanu efikasnost u radu. ERP sistemi, kroz integraciju sa e-fakturama, olakšavaju povezivanje svih poslovnih funkcija, čime se podiže nivo koordinacije i odgovornosti unutar preduzeća. Pored toga, povećana dostupnost ovakvih integrisanih sistema može podstaći šire usvajanje ERP rešenja među MSP, što doprinosi standardizaciji poslovanja na tržištu i jačanju konkurentnosti. Analizom primene e-faktura u zemljama Evropske unije, rad pruža uvid u najbolje prakse koje Srbija može usvojiti kako bi unapredila svoje sisteme i povećala digitalizaciju poslovanja. Rezultati istraživanja naglašavaju potrebu za jačom državnom podrškom, kroz subvencije i obuke, čime bi se dodatno podstaklo usvajanje ERP sistema, što bi doprinelo jačanju privrede Republike Srbije.

5. LITERATURA

- [1] M. Heinemann and W. Stiller, "Digitalization and cross-border tax fraud: evidence from e-invoicing in Italy," *International Tax and Public Finance*, Feb. 2024, doi: 10.1007/s10797-023-09820-x.
- [2] S. Marzinkewitsch and A. Dill, "Digitalization of Business Processes in Federalist Environments: The Introduction of E-Invoicing in Germany," *International Journal of Innovation and Economic Development*, vol. 8, no. 1, pp. 7–19, Apr. 2022, doi: 10.18775/ijied.1849-7551-7020.2015.81.2001.
- [3] Ministarstvo finansija Republike Srbije, "Unapređenje sistema elektronskih faktura od 1. septembra", *Neobilden*, 2024, [На интернету]. Доступно: <https://www.neobilden.com/saopštenje-ministarstva-finansija-unapredjenje-sistema-elektronskih-faktura-od-1-septembra>, [Пристапљено: 4. октобра 2024].
- [4] M. Bayraktar and N. Algan, "The Importance Of SMEs On World Economies," *International Conference on Eurasian Economies 2019*, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.36880/c11.02265>.
- [5] C. Marinagi, Panagiotis Trivellas, Panagiotis Reklitis, and Christos Skourlas, "Drivers and barriers to e-invoicing adoption in Greek large scale manufacturing industries," *AIP conference proceedings*, Jan. 2015, doi: 10.1063/1.4907852.
- [6] K. Poel, W. Marneffe, and W. Vanlaer, "Assessing the electronic invoicing potential for private sector firms in Belgium," *The International Journal of Digital Accounting Research*, vol. 16, 2016, doi: 10.4192/1577-8517-v16_1.
- [7] R. Pérez Estébanez, "Assessing the Benefits of an ERP Implementation in SMEs. An Approach from the," *Scientific Annals of Economics and Business*, vol. 68, no. 1, pp. 63–73, 2021, doi: 10.47743/saeb-2021-0006.
- [8] Rok Bojanc, Andreja Pucihar, and G. Lenart, "E-invoicing: A Catalyst for Digitalization and Sustainability," *Organizacija*, vol. 57, no. 1, pp. 3–19, Feb. 2024, doi: 10.2478/orga-2024-0001.
- [9] A. Martins and Bráulio Alturas, "Organizational impact of implementing an ERP module in Portuguese SME," *Repositório Institucional do ISCTE-IUL (ISCTE-IUL)*, Jun. 2016, doi: 10.1109/cisti.2016.7521542.
- [10] E. Hagsten and M. T. Falk, "Use and intensity of electronic invoices in firms: The example of Sweden," *Journal of Cleaner Production*, vol. 262, p. 121291, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121291.
- [11] R. Arendsen and van, "Government as a Launching Customer for eInvoicing," *Lecture notes in computer science*, pp. 122–133, Jan. 2011, doi: 10.1007/978-3-642-22878-0_11.
- [12] C. Huemer, M. Zapletal, and P. Liegl, "Crossing the Boundaries: e-Invoicing/e-Procurement as Native ERP Features," *Lecture notes in information systems and organisation*, pp. 9–17, Jan. 2014, doi: 10.1007/978-3-319-07055-1_2.
- [13] E. Penttinen, M. Halme, K. Lyytinen, and N. Myllynen, "What Influences Choice of Business-to-Business Connectivity Platforms?," *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 22, no. 4, pp. 479–509, Sep. 2018, doi: 10.1080/10864415.2018.1485083.
- [14] A. Tambovcevs and T. Tambovceva, "ERP System Implementation: Benefits and Economic Effectiveness," *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, vol. 16, pp. 14–20, Jan. 2022, doi: 10.46300/91015.2022.16.3.
- [15] A. Kowal-Pawul, "Structured e-invoices as a manifestation of the digitization of the tax on goods and services in Poland – selected aspects," *Studia Prawno-Ekonomiczne*, vol. 129, pp. 101–118, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.26485/spe/2023/129/7>.
- [16] Panagiotis Liargovas, Athanasios Anastasiou, Dimitrios Komninos, and Zacharias Dermatis, "The Contribution of Electronic Tax Transactions to Increasing the Productivity of Greek Tax Administration and Serving Services for Citizens and Businesses," *China-USA Business Review*, vol. 18, no. 4, Dec. 2019, doi: 10.17265/1537-1514/2019.04.002.

Kratka biografija:



Selena Delčev rođena je 4. januara 2001. godine u Kruševcu, Srbija. Završila je srednju školu u Brusu, smer ekonomski tehničar, 2019. godine. Iste godine upisala je osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Inženjerstvo informacionih sistema, gde je 2023. godine stekla zvanje diplomiranog inženjera informacionih tehnologija. Svoje obrazovanje nastavila je upisom na master studije na istom smeru.

Kontakt: selenadelcev411@gmail.com

ЕСТИМАЦИЈА НИВОА СТРЕСА ЧОВЕКА ПРИМЕНОМ МЕТОДА МАШИНСКОГ УЧЕЊА**ESTIMATION OF STRESS LEVEL IN HUMANS USING MACHINE LEARNING METHODS**

Дуња Павловић; Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – БИОМЕДИЦИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Кратак садржај – Овим радом представљен је концепт примене метода машинског учења у циљу естимације нивоа стреса човека. Стрес као одговор организма на промене окружења манифестује се променом различитих физиолошких параметара. Ови биомаркери коришћени су као улази у модел машинског учења који је на свом излазу предвиђао ниво стреса према дефинисаним класним лабелама.

Кључне речи: Стрес, ниво стреса, машинско учење

Abstract – This thesis presents the concept of applying machine learning methods to estimate human stress levels. Stress, as a response of the organism to environmental changes, manifests itself through changes in various physiological parameters. These biomarkers were used as inputs in a machine learning model, which predicted the stress level based on defined class labels.

Keywords: Stress, stress level, machine learning

1. УВОД

Стрес представља неизоставни део живота савременог човека. Он углавном има негативне последице на здравље. Према подацима Светске здравствене организације, током последњих деценија дошло је до наглог пораста социјалних и медицинских проблема повезаних са стресом, који озбиљно утичу на ментално и физичко здравље одраслих, али и младих и деце. Разумевање стреса, због тога, постаје кључно за клиничка истраживања и здравствену заштиту у циљу спречавања потенцијалних штетних ефеката [1].

Појам стреса у литератури дефинисан је на различите начине. Међутим, најједноставнију и најбољу физиолошку дефиницију стреса дао је Ханс Сеље. По Сељеу, стрес представља неспецифичан одговор организма на захтев, при чему су ови захтеви познати као стресори, а промене у телу изазване тим захтевима одговор на стрес [2].

Услед изложености стресору организам покушава да поврати своје нормално стање и заштити се од потенцијалне штете. За потребе описа биолошких од-

говора на стрес Сеље је развио концепт „општерг синдрома адаптације“. Он је уочио да се одговор на стресор састоји из три фазе: (i) фаза аларма, (ii) фаза адаптације и (iii) фаза исцрпљености. Фаза аларма подразумева иницијално нагло повећања пажње према стимулусу. Активацијом симпатичког нервног система и хипоталамусно-хипофизно-надбубрежне осе од стране мозга организам се припрема за учешће у реакцији борбе и бекства, повећањем срчане фреквенције и фреквенције дисања, отпуштањем глукозе и хранљивих материја из крви како би се снабдели ангажовани мишићи, сужењем крвних судова екстремитета и другим реакцијама. Пошто ови неурофизиолошки одговори не могу да се одрже неограничено, организам улази у фазу исцрпљености. Међутим, даља истраживања су показала да се одговори заиста прекидају, али се претварају у одржано побуђено стање које штети организму, описано ако алоустатско оптерећење [2].

Како стрес представља саставни део живота и његов утицај може да доведе до различитих менталних и физиолошких поремећаја и болести, проналазак генерализованог система за естимацију нивоа стреса човека у свакодневном животу био би од великог значаја. Модел естимације би омогућио праћење стања пацијената, спречио развој болести и открио патолошка стања у раним фазама [1].

2. ФИЗИОЛОГИЈА СТРЕСА

Стресну реакцију посредује сложена интеракција нервних, ендокриних и имунолошких механизма, који активирају симпатичко-адрено-медуларну (SAM) осу, хипоталамусно-хипофизно-адrenalну (HPA) осу и имуни систем. Стресна реакција је адаптивна и припрема тело да се носи са променама унутрашњих или спољашњих фактора окружења. Међутим, уколико је излагање стресору интензивно, понавља се или је дуготрајно, стресна реакција постаје неадаптивна и штетна по физиологију. Излагање хроничним стресорима може проузроковати неадаптивне реакције, укључујући депресију, анксиозност, когнитивна оштећења и срчана обољења [3].

Како је утицај стреса широко распрострањен дефинисан је појам алостазе, као објашњења настанка стресне реакције организма. Алостаза заправо представља способност организма да одржава

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био проф. др Никола Јорговановић, ред. проф.

физиолошку стабилност променом параметара свог унутрашњег окружења прилагођавајући их потребама окружења. Алостаза је специфична по томе што подразумева да након повлачења стресора не долази нужно до враћања организма у стање које одговара почетном [4].

2.1. Одговор на стрес

Појам алостазе може се најјасније представити посматрањем регулације срчаног ритма као одговора на стрес. Срчани рад регулисан је од стране аутономног нервног система, тачније његовог парасимпатичког и симпатичког дела, који делују на синоатриални (SA) чвор. Тачније, присутан је парасимпатички базални тон, који утиче на SA чвор кроз дејство вагусног нерва. Када се јави стресор долази до активације симпатичког нервног система и инхибиције парасимпатичког нервног система како би се остварио потребни пораст срчаног ритма. Симпатички и парасимпатички нервни систем су под контролом централног аутономног нервног система лоцираног у мозгу. Када се јави стресор, на пример, пад крвног притиска услед губитка крви, барорецептори у луку аорте и каротидним синусима шаљу узлазне сигнале централној аутономној мрежи у мозгу. Ово доводи до инхибиције вагусног нерва преко ГАБАергичких неурона и ослобађања парасимпатичког базалног утицаја на SA чвор, што омогућава повећања срчаног ритма и самим тим минутног волумена срца [4].

Централна аутономна мрежа је сама по себи под регулацијом више регија у мозгу, што значи да је на највишем нивоу мозак одговоран за одговор на стрес. Поједностављено, као што постоји тонска инхибиција SA чвора од стране парасимпатичког нервног система, у мозгу постоји тонска инхибиција амигдале од стране префронталног кортекса. Остале мождане регије укључене у овај процес су премоторни кортекс, фронтални режањ, хипоталамус, темпорални режањ и цингуларни гирус. Амигдала континуално процењује претње и регулише доживљај страха, али префронтални кортекс тонски инхибише овај процес спречавајући постојање сталног одговора на стрес. Перцепција стресора доводи до отпуштања ове тонусне инхибиције, што омогућава активацију одговора на стрес путем хипоталамично-хипофизно-адреналне осе и аутономног нервног система. Као што је већ речено, ово доводи до отклањања вагусне инхибиције SA чвора и тиме повећања срчаног ритма. У овом случају алостаза подразумева повећање срчаног ритма као одговор на стресор, али такође и опоравак срчаног ритма након отклањања стресора [4].

2.2. Алостатско оптерећење

Алостатско оптерећење описује хабање тела услед стреса и неефикасне алостазе. За разлику од алостазе, код алостатског оптерећења не долази до нормалног повратка на базну линију након уклањања стресора. Према моделу који је успоставио МикЕвен, постоје четири главна начина на која алостатска стања одступају од здравих одговора. Први је у ситуацији

поновљених удараца. Ако неко више пута доживи исти стресор у кратком периоду, нема довољно времена да се организам навикне на поновљени стресор. Други начин, који је проширење првог, је недостатак адаптације. Не само да особа није у стању да се навикне на поновљене стресоре, већ са сваким ударцем постаје мање ефикасна и мање способна да одговори на стресор на адекватан начин. Трећи начин развоја алостатског оптерећења је када постоји продужен одговор на стресор без опоравка након уклањања стресора. И на крају, четврти начин је кроз развој неадекватног одговора, односно када се нормалан физиолошки одговор на стрес уопште не покрене. Алостатско оптерећење према томе подразумева постојање или неадекватног одговора на стрес или неадекватног опоравка након одговора на стрес [4].

2.3. Мерење одговора на стрес

Стрес генерално погађа све системе у телу, укључујући кардиоваскуларни, респираторни, ендокрини, гастроинтестинални, нервни, мишићни и репродуктивни систем. Стрес узрокује повећање срчаног ритма, јаче контракције срчаног мишића, проширење срца и прераспodelу крви у велике мишиће. Изазива промене у обрасцима дисања због сужења дисајних путева, што доводи до кратког даха и плитког, убрзаног дисања. Такође, доводи до одложеног пражњење желуца и смањене покретљивост црева, као и смањења имунолошког одговора. Спрам овога, као биомаркери стреса могу се посматрати: крвни притисак и срчани ритам; варијабилност срчаног ритма; електроенцефалографски сигнали који описују мождану активност; електродермална активност у виду проводљивости коже; телесна температура; биохемијски маркери и слично [3].

3. ЕСТИМАЦИЈА НИВОА СТРЕСА

Естимација нивоа стреса човека врши се применом неког од алгоритама машинског учења. Проблем естимације нивоа стреса је класификациони проблем и за његово решавање претежно се користе алгоритми класификације, међутим регресиони алгоритми су такође показали добре резултате за овај тип проблема. Алгоритми класификације и регресије спадају у групу алгоритама надгледаног учења. Код алгоритама надгледаног учења за сваки узорак из скупа за обуку алгоритма дата је и тачна излазна лабела. Излазна лабела у посматраном проблему представља скалу стреса, односно нивое стреса који се разматрају. Подаци о излазним вредностима користе се у обуци алгоритма који ће за неки нови необележени узорак предвидети вредност излаза. Резултат обуке је модел класификације на основу којег се утврђује класна припадност за узорке за које она није позната [5].

Креирање модела машинског учења за естимацију нивоа стреса подразумева два основна корака: (i) издвајање обележја и (ii) класификацију. Подаци доступни у разматраној бази података се анализирају у циљу идентификације параметара који ће на једнозначан начин да опишу припадност узорака једној

од класа. Овакви параметри користе се као обележја, односно улази у модел машинског учења. За овај конкретан проблем као обележја погодно је изабрати неки од претходно описаних биомаркера стреса. Поред овога потребно је одабрати алгоритме машинског учења чија успешност за дати проблем ће се испитивати. Након избора обележја и модела машинског учења, врши се подешавање оптималних хиперпараметара модела, како би се креирао што бољи модел за дати проблем. На крају, се креирају финални модели са претходно одређеним оптималним вредностима хиперпараметара, а њихове перформансе тестирају се у циљу проналаска генерализованог модела естимације нивоа стреса човека.

3.1 База података

База података креирана је мерењем биомаркера стреса код 11 субјеката приликом извођења проширеног протокола за шумске ватрогасце на високој температури. Протокол се састојао из три фазе физичког напора. Прва фаза подразумевала је два периода константног физичког напора, са и без оптерећења у трајању од 20 минута и паузом од 10 минута између. Друга фаза је фаза физичког напора променљивог интензитета где су субјекти излагани трима нивоима интензитета: (i) средњи (*moderate*), (ii) низак (*low*) и (iii) висок (*high*). Прво је примењен физички напор средњег интензитета у трајању од 7 минута, затим низак ниво интензитета од 15 минута и на крају висок ниво интензитета 3 минута, такође у два наврата. Последња, трећа фаза максималног физичког напора трајала је 10 минута у току које су испитаници излагани постепено све већем физичком напору. Између сваке фазе направљена је пауза од 15 минута.

Током целог периода теста континуално су мерени подаци са сензора срчаног ритма и сензора телесне температуре постављених на грудни кош субјекта. За сваког субјекта на крају експеримента добијени су следећи подаци: телесна температура (енгл. *Core Temperature*, TCore): мерена сваки минут; температура коже грудног коша (енгл. *Chest Skin Temperature*, TChest): мерена сваки минут; срчани ритам (енгл. *Heart Rate*, HR): мерен сваки секунд и RR интервали: мерени сваки секунд.

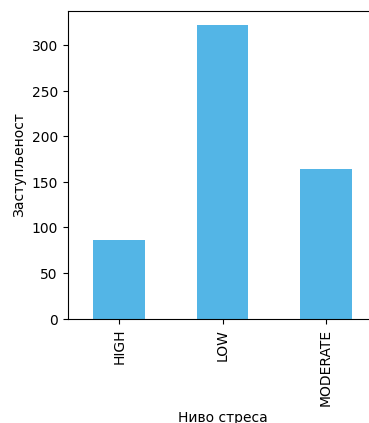
Од целокупне базе података прикупљене овим експериментом, од интереса за овај рад биле су само вредности података прикупљене у току друге фазе експеримента, односно фазе физичког напора променљивог интензитета. Према томе, скала нивоа стреса коришћена у овом раду је: LOW тј. низак ниво стреса; MODERATE тј. средњи ниво стреса и HIGH тј. висок ниво стреса.

3.2 Избор обележја

Следећи корак у креирању естиматора ниво стреса био је одабир обележја која ће се користити за потребе класификације. На основу расположивих података као обележја коришћени су: Телесна температура (TCore); Температура коже грудног коша (TChest); Срчани ритам (HR) и Варијабилност срчаног ритма (енгл. *Heart Rate Variability*, HRV). Међутим,

фреквенције одабирања приликом мерења нису биле исте за сваки мерени податак. Како су температуре мерене сваки минут, а подаци везани за срчану активност сваки секунд, било је потребно свести све податке на исту учестаност узорковања. На овај начин је обезбеђено постојање истог броја узорака за свако обележје. Одлучено је да ће узорци бити вредности обележја посматране сваки минут мерења и томе су адекватно прилагођене. Телесна и температура коже грудног коша преузете су као такве из базе. За вредност срчаног ритма узета је заправо средња вредност у једном минуту мерења. Варијабилност срчаног ритма добијена је рачунањем корена средње вредности узастопних разлика RR интервала током једног минута мерења.

На овај начин, креиран је финални скуп узорака који је даље коришћен за креирање естиматора нивоа стреса човека. Матрица обележја је димензија 572x5. Сваки узорак описан је с четири обележја, па је вектор обележја димензија 1x4. Сваки узорак припада једном нивоу стреса, односно класи, па је на основу тога вектор класе тј. излазна лабела димензија 572x1.



Слика 1. Заступљеност нивоа стреса у финалном скупу узорака.

Додатно, у финалном скупу узорака најзаступљенији су узорци који описују класу LOW, њих 322, затим узорци класе MODERATE, 164 узорака, а најмање заступљених узорака је у класи HIGH са 86 узорака, што је приказано сликом 1. Такође, спрам велике разлике у опсезима вредности обележја одлучено је да ће обука модела бити вршена са и без претходне стандардизације обележја.

3.3 Одабир модела машинског учења

Одабир модела машинског учења који су се разматрани у овом раду вршен је на основу резултата добијених у другим истраживањима која су се бавила сличним проблемима. Као ефикасни за решавање овог типа проблема, у литератури, показали су се модели: вештачке неуралне мреже, машине на бази вектора носача и класификатора и регресора случајне шуме.

3.4 Одређивање оптималних вредности хиперпараметара

За потребе селекције модела и естимације перформанси расположиви скуп узорака подељен је на три дисјунктна скупа: (i) скуп за обуку, (ii) скуп за

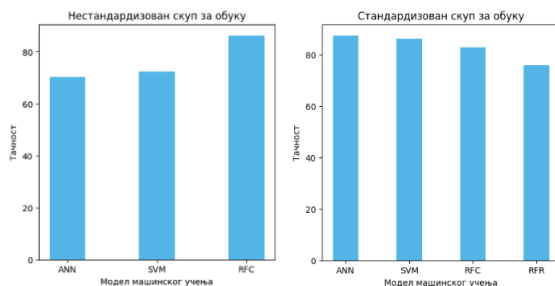
валидацију и (iii) скуп за тестирање. Скуп за обуку је скуп узорака који се користи за формирање модела. Скуп за валидацију представља скуп узорака који се користи за подешавање хиперпараметара модела, а скуп за тестирање је скуп узорака који се користи само за процену перформанси одабраног модела [5]. Помоћу *HoldOut* метода целокупан скуп узорака подељен је на скуп за обуку и скуп за тестирање, тако да 10% на случај изабраних узорака креира тест скуп. Скуп за обуку чинило је 514 узорака, док се скуп за тестирање састојао од 58 узорака. За потребе селекције модела коришћен је *GridSearchCV* алгоритам доступан у *Python* програмском језику. На основу мреже могућих вредности хиперпараметара применом унакрсне валидације са 10 партиције на целокупан скуп за обуку, за сваку комбинацију параметара, као оптималне, одабране су оне вредности за које је модел на скупу за валидацију дао највећу тачност.

3.5 Креирање коначних модела машинског учења

Коначни модели машинског учења обучени су са претходно одређеним оптималним вредностима хиперпараметара на целокупном скупу за обуку. Перформансе модела тестиране су над издвојеним тест скупом при чему је као мера успешности класификатора посматрана тачност, као удео исправно класификованих узорака у целој популацији [5].

4. ЗАКЉУЧАК

Овај мастер рад има за циљ генерисање модела машинског учења који ће на генерализован начин естимирати ниво стреса човека. На нестандардизованом скупу обележја као најбољи показао се класификатор случајне шуме са тачношћу од 86.21%. Међутим, модел неуронске мреже и машина на бази вектора носача показали су солидне резултате (слика 2 лево). Уколико посматрамо резултате добијене са стандардизованим скупом за обуку, приказане сликом 2 десно, модел вештачке неуронске мреже показао се као најуспешнији у класификацији нивоа стреса, тачност 87.36%. Мало нижу вредност тачности, али такође веома погодну, пружају машина на бази вектора носача, али и класификатор случајне шуме. Иако је у литератури регресор случајне шуме дао одличне резултате, за разматрану базу података показао се као најлошији естиматор.



Слика 2: Приказ најбољег модела машинског учења за нестандардизовани и стандардизовани скуп за обуку

Разматрањем свих добијених резултата може се закључити да се за ову врсту проблема као најгенерализованији показао класификатор случајне шуме. Овај модел остварио је врло добре резултате и за нестандардизоване и стандардизоване вредности обележја, за разлику од других модела чије су перформансе варирале у значајном опсегу. Захваљујући једноставности употребе, робустности према небалансираним скуповима података, као и способности да се одупре натприлагођењу овај класификатор надмашио је остале моделе.

Стрес, као неизбежан аспект живота, иако опсежно истражен, представља једну од главних тема бројних истраживања. Разумевање дејства стреса на људски организам доприноси његовом бржем препознавању и спречавању његовог негативног утицаја. Овај рад је управо дао потврду значаја и доприноса истраживања појма стреса и његовог утицаја на човека.

5. LITERATURA

- [1] Arza A, Garzón-Rey JM, Lázaro J, Gil E, Lopez-Anton R, de la Camara C, Laguna P, Bailon R, Aguiló J, „*Measuring acute stress response through physiological signals: towards a quantitative assessment of stress*“. Med Biol Eng Comput. 2019 Jan;57(1):271-287. doi: 10.1007/s11517-018-1879-z. Epub 2018 Aug 9. PMID: 30094756.
- [2] Hellhammer, D. H., Stone, A. A., Hellhammer, J., & Broderick, J. (2010). „*Measuring stress*“, In Encyclopedia of Behavioral, Neuroscience (Vol. 2, pp. 186–191). Elsevier Ltd.
- [3] Chu B, Marwaha K, Sanvictores T, Awosika AO, Ayers D. „*Physiology, Stress Reaction*“, 2024 May 7. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan–. PMID: 31082164.
- [4] Cool, Joséphine & Zappetti, Dana. (2019). „*The Physiology of Stress*“, 10.1007/978-3-030-16558-1_1
- [5] Т. Носек, Б. Бркљач, Д. Деспотовић, М. Сечујски, Т. Лончар-Турукало, „*Практикум из машинског учења*“, 1. изд, Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, 2020, ISBN: 978-86-499-0245-9.

Кратка биографија:



Дуња Павловић рођена је у Новом Саду 1999. године. Основне академске студије из области биомедицинског инжењерства на Факултету техничких наука у Новом Саду завршила је 2022. године.

контакт: dunjapav99@gmail.com

МЕТОДЕ И МЕТРИКЕ ЗА ПРАЋЕЊЕ И УНАПРЕЂЕЊЕ КВАЛИТЕТА *MRI* ДИЈАГНОСТИКЕMETHODS AND METRICS FOR MONITORING AND IMPROVING THE QUALITY OF *MRI* DIAGNOSTICS

Николина Томашевић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – Биомедицинско инжењерство

Кратак садржај – Примена метода за редукцију шума, као што су *wavelet*, *NLM* метода и анизотропна дифузија, у циљу унапређења квалитета *MRI* дијагностике и припреме за прецизну сегментацију glandularног и масног ткива дојке. Ефикасност примењених метода анализирана је коришћењем различитих евалуационих метрика.

Кључне речи: *MRI*, редукција шума, *wavelet* метода, *NLM* метода, *anisotropic diffusion*, *PSNR*, *SSIM*, *MAE*, *MSE*, *SNR*, сегментација, *DSC*

Abstract – The application of noise reduction methods, such as *wavelet*, *NLM* method and *anisotropic diffusion*, aimed at improving the quality of *MRI* diagnostics and preparing for more precise segmentation of glandular and adipose breast tissue. The effectiveness of the applied methods was analyzed using various evaluation metrics.

Keywords: *MRI*, noise reduction, *wavelet* method, *NLM* method, *anisotropic diffusion*, *PSNR*, *SSIM*, *MAE*, *MSE*, *SNR*, segmentation, *DSC*

1. УВОД

Рак дојке је најчешћи малигнитет код жена и један од водећих узрока смртности. Упркос напретку у лечењу, рано откривање и прецизна дијагностика остају кључни фактори у побољшању исхода лечења и смањењу смртности, где магнетна резонанца (*MRI* – *Magnetic Resonance Imaging*) има значајну дијагностичку улогу [1]. Квалитет *MRI*-а често је нарушен присуством шума, што отежава анализу. За побољшање *MRI* дијагностике користе се методе за редукцију шума попут *wavelet* трансформације, *NLM* (*NLM* – *Non-Local Means*) методе и анизотропне дифузије, што представља основу за прецизну сегментацију два главна ткива дојке.

Сегментација glandularног и масног ткива омогућава процену расподеле и волумена ових ткива кроз време, што доприноси тачнијој процени ризика и правовременој медицинској интервенцији, чиме се смањује могућност компликација и побољшава исход лечења.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Платон Совиљ

2. МЕТОДОЛОГИЈА

Описане су технике за унапређење квалитета *MRI* података, укључујући препроцесирање применом *Otsu* методе, филтрирање помоћу *wavelet*, *NLM* методе и анизотропне дифузије, уз оптимизацију путем *hyperparameter tuning*-а ради постизања баланса између уклањања шума и очувања анатомских структура. За класификацију ткива дојке, представљена је метода сегментације која користи препознатљиве *Gaussian* карактеристике масног ткива у *MRI* хистограму.

Евалуација је извршена коришћењем метрика као што су *PSNR* (*PSNR* – *Peak Signal-to-Noise Ratio*), *SSIM* (*SSIM* – *Structural Similarity Index Measure*), *SNR* (*SNR* – *Signal-to-Noise Ratio*), *MAE* (*MAE* – *Mean Absolute Error*) и *MSE* (*MSE* – *Mean Squared Error*) за филтрирање, и *Dice* коефицијента сличности за сегментацију, упоређивањем са референтним подацима радиолога.

2.1. Примена *Otsu* методе

Otsu метода је ефикасна техника за аутоматску бинаризацију слика која одређује оптималан праг за раздвајање пиксела на позадину и регион од интереса. Алгоритам анализира хистограм слике, бира праг који минимизује интра-класну варијансу и максимизује интер-класну варијансу, чиме се постиже оптимално раздвајање објеката од позадине. Након одређивања прага, пиксели са нижим интензитетом се класификују као позадина, док се они са вишим интензитетом додељују региону од интереса, што олакшава изолацију ткива и структура, док се позадински шум уклања.

Као први корак у препроцесирању података, *Otsu* метода поставља основу за даљу обраду, попут примене морфолошких операција. Дилатација и ерозија функционишу на принципу геометријске трансформације бинаризованих слика, при чему се дилатација користи за проширивање објеката, спајање фрагмената и попуњавање празнина, док ерозија смањује величину објеката, уклања шум и нежељене артефакте, чиме се побољшава јасноћа граница између позадине и региона од интереса. Ова комбинација операција уклања мале несавршености у бинаризованој слици [2].

2.2. Методе редукције шума

Одабране методе редукције шума морају бити довољно софистициране да ефикасно уклоне шум, док истовремено чувају анатомске детаље и структуре. Шум може значајно деградирати квалитет слике, што утиче на видљивост детаља, отежавајући прецизну анализу медицинских података. Најчешће се генерише као последица техничких ограничења апаратуре, физиолошких карактеристика ткива и неизбежних покрета пацијента током снимања [3].

У ту сврху, *wavelet* метода редукције шума, *NLM* метода и анизотропно дифузијско филтрирање представљају три комплементарне технике које су изабране због специфичних предности које пружају у обради.

2.2.1. *Wavelet* метода

Wavelet метода користи *wavelet* трансформацију, која омогућава да се слика разложи на различите нивое детаља, при чему се шум одваја од корисних информација. *Wavelet* трансформација омогућава анализу слике у временско-фреквенцијском домену, што значи да може анализирати сигнале или слике које имају променљиве фреквенције, што је корисно у медицинским применама где се структуре могу јављати на различитим скалама.

Основна идеја *wavelet* редукције шума јесте разлагање слике на различите фреквенцијске компоненте користећи дискретну *wavelet* трансформацију (*DWT – Discrete Wavelet Transform*). Овај процес дели слику на апроксимационе и детаљне коефицијенте. Апроксимациони коефицијенти представљају ниске фреквенције слике и носе информације о општој структури слике, док детаљни коефицијенти садрже информације о високим фреквенцијама, које обухватају fine детаље, ивице и шум.

Након декомпозиције слике, примењује се метода прага како би се филтрирали детаљни коефицијенти, уклањајући шум, док се важни детаљи задржавају. За одређивање прага се најчешће користе *hard thresholding* и *soft thresholding*.

Hard thresholding потпуно уклања коефицијенте испод задатог прага, што може довести до губитка важних детаља. С друге стране, *soft thresholding* смањује вредности коефицијената пропорционално њиховој величини, чиме се мањи коефицијенти значајно смањују, док се већи коефицијенти смањују мање. Овај приступ омогућава задржавање више корисних информација и смањује ризик од губитка значајних детаља слике.

Коначно, реконструисана слика се добија применом инверзне *wavelet* трансформације (*IDWT – Inverse Discrete Wavelet Transform*). Овај корак омогућава враћање слике из трансформисаног домена назад у просторни домен пиксела, али сада са значајно смањеним шумом [4], [7].

2.2.2. *NLM* метода

NLM метода функционише тако што за сваки пиксел у слици израчуна нову вредности интензитета на основу информација из околних делова слике. Уместо да се интензитет сваког пиксела мења искључиво на основу непосредне околине, алгоритам узима у обзир информације са ширег подручја слике. Сви пиксели из тог ширег подручја доприносе новој вредности пиксела, али њихов допринос није једнак. Пиксели који имају сличнију околину у поређењу са посматраним пикселем имају већи утицај на коначну вредност интензитета. Овај утицај се изражава кроз тежине које зависе од сличности регија, мањих делова слике који се користе за поређење локалних карактеристика пиксела, како би се проценила њихова сличност и одредио њихов допринос у редукцији шума. Дакле, интензитет новог пиксела се одређује као просек свих релевантних пиксела, при чему пиксели са сличнијим карактеристикама више доприносе резултату.

Тежине пиксела се израчунавају помоћу *Gaussian* функције, где се сличност између регија мери на основу квадратне Еуклидске дистанце између интензитета. Што је та дистанца мања, то је већа сличност, и стога тај пиксел има већи утицај на коначну вредност интензитета филтрираног пиксела. На овај начин, *NLM* алгоритам успева да ефикасно смањи шум у слици, јер пиксели који носе информације о стварним структурама имају већи допринос, док се шум, који обично чини мале и случајне промене у интензитету, занемарује [5], [7].

2.2.3. Анизотропно дифузијско филтрирање

Анизотропно дифузијско филтрирање је техника која побољшава квалитет слика адаптивним управљањем процесом дифузије, омогућавајући очување структурних карактеристика слике, попут ивица и детаља, док се ефикасно смањује присуство шума. За разлику од класичних техника филтрирања, које примењују униформно смањење шума широм слике, што често резултира губитком важних информација попут ивица и граница између различитих структура, анизотропно дифузијско филтрирање користи локалне карактеристике слике за прилагођавање брзине дифузије. Анизотропна дифузија користи градијенте слике како би контролисала дифузију на местима где је присутан шум, док се у областима са оштрим прелазима, где су присутне ивице, дифузија смањује, чиме се ови елементи чувају од замућења.

Perona-Malik модел, један од најпознатијих модела за анизотропну дифузију, користи нелинеарну дифузију прилагођену локалним карактеристикама слике. Циљ *Perona-Malik* модела је да се шум ефикасно уклони из хомогених подручја слике, док се ивице и структурни детаљи, који представљају високе градијенте у слици, задржавају [6].

2.3. Метрике за евалуацију резултата

Методе за смањење шума у сликама захтевају квантитативну процену како би се оценило колико

успешно реконструишу оригиналне слике и колико је шум ефикасно уклоњен. Метрике, као што су *PSNR*, *SSIM*, *MAE*, *MSE* и *SNR*, користе се за објективно мерење разлика између оригиналних и слика са редукованим шумом, што омогућава избор оптималних параметара и метода за специфичне задатке. Ове метричке вредности служе као стандардизовани начин поређења перформанси различитих метода, омогућавајући јасније уочавање предности и недостатака сваког приступа [4], [5], [6], [7].

2.3.1. *PSNR*

PSNR је метрика која се користи за квантитативно мерење квалитета слике након смањења шума. Користи се за процену колико су оригинална слика и слика са смањеним шумом сличне. *PSNR* мери однос између максималне могуће вредности пиксела у слици и средње квадратне грешке између две слике, при чему веће вредности указују на мању разлику између слика. Резултати се изражавају у децибелима (dB), што омогућава једноставну интерпретацију, виши *PSNR* значи да је слика са смањеним шумом сличнија оригиналу.

2.3.2. *SSIM*

SSIM је метрика која се користи за процену сличности између две слике, фокусирајући се на структурне информације и начин на који људско око перципира сличност. За разлику од *PSNR*-а, који мери апсолутну разлику између пиксела, *SSIM* узима у обзир варијације осветљености, контраста и структуре, пружајући перцепцијски релевантнију меру сличности.

2.3.3. *MAE*

MAE је метрика која мери просечну апсолутну грешку између две слике, пружајући једноставан и директан начин за процену тачности методе смањења шума. Ова метрика омогућава да се прецизно квантификује колико су, у просеку, пиксели слике са смањеним шумом одступили од својих вредности у оригиналној слици.

2.3.4. *MSE*

MSE мери просечну квадратну грешку између оригиналне слике и слике са смањеним шумом. За разлику од *MAE*, која мери просечну апсолутну грешку, *MSE* даје већи значај већим одступањима између вредности пиксела, јер се разлике квадрирају. Због тога је *MSE* осетљивији на веће грешке и често се користи када је важно квантификовати значајна одступања између две слике.

2.3.5. *SNR*

SNR мери однос између снаге сигнала, односно корисних информација садржаних у слици и снаге шума у слици. *SNR* се изражава у децибелима (dB) и користи се за процену колико је успешно смањен шум у слици. Већа вредност *SNR*-а указује на то да је сигнал, односно корисна информација из слике, доминантан у

односу на шум, што значи да је слика са смањеним шумом квалитетнија.

2.4. Оптимизација филтрирања

Hyperparameter tuning је методолошки приступ који омогућава систематско истраживање и оптимизацију параметара у алгоритмима редукције шума, ради постизања најбољег односа између уклањања шума и очувања важних структурних информација слике. Коришћењем алата као што је *ParameterGrid* генеришу се све могуће комбинације хиперпараметара, док функције *Parallel* и *delayed* омогућавају брзу и ефикасну евалуацију тих комбинација кроз паралелизацију, значајно смањујући време обраде [10].

Након што се генеришу све могуће комбинације хиперпараметара, свака од тих комбинација пролази кроз процес евалуације користећи претходно описане метрике. Процес евалуације подразумева примену алгоритма редукције шума на слике са сваким сетом хиперпараметара, након чега се резултати анализирају на основу метрика, како би се идентификовала оптимална конфигурација, што доводи до побољшања квалитета обрађених слика и боље прилагодљивости алгоритма различитим типовима *MRI* података.

2.5. Сегментација glandуларног и масног ткива

Метода сегментације заснована на хистограму користи праг интензитета T како би раздвојила масно и glandуларно ткиво. Како масно ткиво идеално има *Gaussian* расподелу, његова ширина на половини максималне вредности ($FWHM$ – *Full Width at Half Maximum*), означена као $FWHM_f'$, израчунава се као двострука ширина око половине врха означена са μ_f' .

Ова *Gaussian* расподела јасно одражава доминантно присуство масног ткива у *MRI* подацима. Иако glandуларно ткиво не мора увек показивати препознатљиве карактеристике на хистограму, масно ткиво готово увек даје јасно изражен врх, омогућавајући прецизно одређивање његове *Gaussian* расподеле. Затим се једна *Gaussian* крива (тј. испрекидана крива на слици 1) прилагођава делу хистограма масног ткива, који се налази десно од прага интензитета T , док су интензитети испод T искључени. Параметар прага T се повећава од 0 до одређене вредности, док се не постигне оптимално усклађивање између преобликованог хистограма масног ткива и *Gaussian* криве. Ова метода прилагођавања хистограма омогућава прецизније одвајање масног ткива од glandуларног, чак и у случајевима када су два ткива блиско распоређена у погледу интензитета.

Резултујућа *Gaussian* крива се сада може сматрати стварном расподелом масног ткива, а вредност прага T постаје граница између два главна типа ткива. Тиме се постиже ефикасна сегментација, где интензитети пиксела који припадају масном ткиву задржавају своје особине унутар хистограма, док се glandуларно ткиво одваја на основу своје специфичне расподеле интензитета [2], [8].

Нека X буде скуп интензитета пиксела унутар унутрашњости дојке, а $f(x)$ функција густине

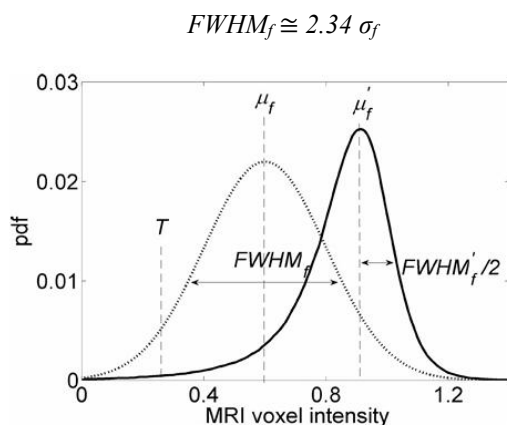
вероватноће за X . Ако се дефинише праг интензитета T , варијанса пиксела масног ткива дефинише се формулом [2], [8]:

$$\sigma_f^2 = \sum_{x>T} f(x)(\mu_f - x)^2$$

Где је μ_f средња вредност расподеле интензитета масног ткива, а праг T може се израчунати као:

$$T = \arg \min_{T \in x} (FWHM_f' - FWHM_f)$$

где је:



Слика 1: MRI хистограм је приказан пуном линијом, док је крива која одговара Gaussian компоненти формираној од воксела масног ткива приказана испрекиданом линијом [2].

2.5.1. Dice коефицијент сличности

Како би се проверила тачност, сегментација се кванитативно валидара поређењем добијених резултата са референтним подацима. Користи се Dice коефицијент сличности (*DSC – Dice Similarity Coefficient*), који мери степен преклапања између сегментисаних региона и референтних података. Ова валидација омогућава не само процену тачности методе, већ и идентификацију могућих одступања, пружајући увиде за даљу оптимизацију алгоритма.

DSC се дефинише као однос између броја тачно идентификованих пиксела који су заједнички за сегментоване области и референтне податке, и укупног броја пиксела у овим областима, укључујући и оне који су означени као погрешни [9].

3. ЗАКЉУЧАК

Примена напредних техника редукције шума, резултирала је добрим резултатима у очувању структурних и текстуалних карактеристика *MRI* слика дојке. Све методе показале су способност ефикасног смањења шума без значајног нарушавања анатомских детаља, док високе вредности *DSC*-а указију на успешну идентификацију граница између glandularног и масног ткива.

Овакви резултати доприносе тачнијој анализи и поузданијем препознавању структурних карактеристика значајних за дијагностичке процедуре.

Даљи рад ће бити усмерен на унапређење квалитета *MRI* података применом *bias field* корекције, која елиминише нехомогености у интензитету пиксела. Ова корекција побољшава јасноћу структурних карактеристика, што омогућава прецизније дефинисање граница између различитих врста ткива и смањује грешке у сегментацији. На тај начин, примењене методе унапређују анализу медицинских слика и пружају стабилнију основу за примену напредних модела вештачке интелигенције, који могу значајно допринети прецизнијем тумачењу и побољшању клиничких исхода.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] World Health Organization: "Breast cancer"
- [2] Ahmet Hakan Tunçay: "Realistic Microwave Breast Models Through T1-Weighted 3-D MRI Data", 2019
- [3] Poonam Jaglan, Rajeshwar Dass, Manoj Duhan: "Detection of Breast Cancer using MRI: A Pictorial Essay of the Image Processing Techniques," *International Journal of Computer Engineering In Research Trends*, 2019
- [4] Sachin D. Ruikar, Dharmpal D. Doye: "Wavelet Based Image Denoising Technique," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2011
- [5] Damini: "Denoising MRI images using NLM filter," *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 2019
- [6] Shahare, N., & Yadav, D. M. *Filtering Method for Preprocessing Mammogram Images for Breast Cancer Detection*. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019
- [7] Caixia Liu, Li Zhang: "A Novel Denoising Algorithm Based on Wavelet and Non-Local Moment Mean Filtering," *Electronics*, 2023
- [8] F. S. Jorgensen, "Segmentation of male abdominal fat using MRI," Mas ter's thesis, Dept. Informat. Math. Modelling, Tech. Univ. Denmark, Kongens Lyngby, Denmark, 2006
- [9] Podobnik, G., & Vrtovec, T. *Metrics for Biomedical Segmentation*, 2024
- [10] Scikit-learn Documentation on Hyperparameter Tuning

Кратка биографија:



Николина Томашевић рођена је у Сремској Митровици 1995. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области биомедицинског инжењерства одбранила је 2024. године.

Контакт:
ninatomasevic95@gmail.com

UPOTREBA VORONOI TESALACIJE ZA DEFINISANJE FUNKCIONALNIH ELEMENATA MODELA

USE OF VORONOI TESSALATION FOR DEFINING THE FUNCTIONAL ELEMENTS OF THE MODEL

Antonia Tilinger, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – RAČUNARSKA GRAFIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu ukratko je opisan pojam Voronoi tesalacije i način na koji se on može implementirati za definisanje funkcionalnih elemenata modela u trodimenzionalnom prostoru. Implementacija je sprovedena korišćenjem skripte koja je napisana korišćenjem Python programskog jezika i njegovih biblioteka poput NumPy i SciPy. Vizuelizacija je sprovedena u softveru Blender u verziji 4.2 koja je kompatibilna sa Python verzijom 3.11.

Ključne reči: kompjuterska grafika, Python programski jezik, Voronoi, Blender

Abstract – This paper briefly describes the concept of Voronoi tessellation and how it can be implemented to define the functional elements of the model in three-dimensional space. The implementation was carried out using a script written using the Python programming language and its libraries such as NumPy and SciPy. Visualization was performed in Blender software version 4.2 which is compatible with Python version 3.11.

Keywords: computer graphics, Python programming language, Voronoi, Blender

1. UVOD

Cilj ovog rada je primena znanja koje je student stekao u toku studiranja kao i njegovo proširenje. U toku studija, student se susreo sa Voronoi tesalacijom u dvodimenzionalnom prostoru, nakon čega je student odlučio da proba da unapredi znanje koje je stekao i implementira Voronoi u trećoj dimenziju. Cilj je bio pisanje skripte kao dodatak koji automatizuje proces deljenja 3D objekta na segmente, koji se nakon obrade mogu koristiti u svrhu 3D štampe.

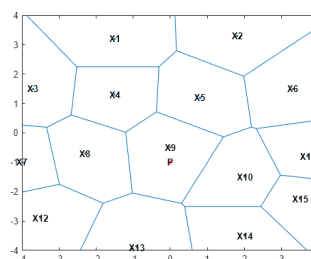
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada pod istim nazivom, čiji mentor je bila prof. dr Lidija Krstanović.

2. TEORIJSKA OSNOVA

2.1. Voronoi

Voronoi dijagram je vrsta tesalacionog šablona u kome se n broj tačaka raspoređenih po ravni deli na tačan broj konveksnih oblasti koje se nazivaju ćelije. Svaka od tih ćelija obuhvata deo ravni koji je najbliži istom sedištu. Granice između ovih oblasti čine tačke koje imaju više od jednog sedišta. U najjednostavnijem, dvodimenzionalnom slučaju, za konačni skup tačaka $\{p_1, \dots, p_n\}$ u euklidskoj ravni, svaka tačka predstavlja generator P_k , a njoj odgovarajuća Voronoi ćelija R_k sadrži sve tačke čija je udaljenost do P_k manja ili jednaka udaljenosti do bilo kog drugog generatora. Ćelije nastaju kao polupresek prostora što ih čini konveksnim mnogouglovima. Voronoi ćelije ne moraju uvek biti povezane, samim tim dobijaju se uvek konveksni mnogouglovi [1].



Slika 1. Primer Voronoi dijagrama [11]

2.2. Rastojanja

U većini slučajeva, za računanje rastojanja između tačaka može se koristiti Euklidsko ili *Manhattan* rastojanje. Euklidsko rastojanje je uobičajena razdaljina između dve tačke koju je moguće izmeriti lenjirom, odnosno ono predstavlja dužinu prave koja spaja te dve tačke. Računa se Pitagorinom teoremom koristeći kartezijanske koordinate tačaka. Za opšti n-dimenzionalni slučaj, Euklidsko rastojanje između dve tačke p i q se računa na sledeći način [2]:

$$d(p_i, p_j) = \sqrt{(p_{ix} - p_{jx})^2 + (p_{iy} - p_{jy})^2 + \dots + (p_{in} - p_{jn})^2}$$

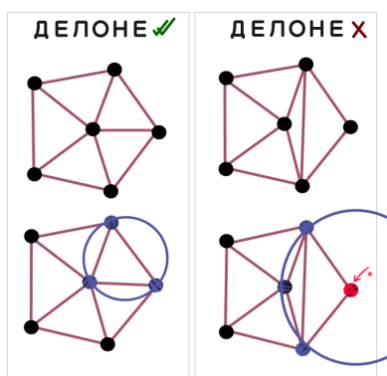
Manhattan rastojanje je dobilo ime po obliku mreže ulica na ostrvu Manhattan. Rastojanje između dve tačke definisano je kao zbir apsolutnih razlika njihovih odgovarajućih Dekartovih koordinata. Manhattan udaljenost između dve tačke p i q , u opštem n -dimenzionalnom slučaju se računa na sledeći način [3]:

$$d_T(p, q) = ||p - q||_T = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i|$$

2.3. Delaunay triangulacija

Triangulacija je geometrijski proces razlaganja kompleksnih oblika, ili prostora, na jednostavnije geometrijske elemente.

Delone triangulacija dobila je ime po Borisu Deloneu koji je radio istraživanje o njoj 1934. godine. Kao što samo ime kaže, generiše se skup trouglova koji povezuju tačke. Generisani trouglovi su takvi da ukoliko se nacrtaju kružnica preko temena trouglova, unutar te kružnice se ne nalazi nijedna druga tačka. Delone triangulacija ima svojstvo maksimiziranja najmanjeg ugla, odnosno prilikom generisanja trouglova izbegava se generisanje trougla sa oštrim uglovima. Za izračunavanje Delone triangulacije postoji nekoliko algoritama. Većina njih oslanja se na operacije koje proveravaju da li se tačka nalazi unutar opisane kružnice trougla [4]. U matematičkom smislu, Deloneova triangulacija je dualni graf Voronoi dijagrama, odnosno za isti skup tačaka, vrhovi Voronoi dijagrama odgovaraju centrima opisanih kružnica Delone trouglova.



Slika 2. Pravilna (levo) i nepravilna (desno) Delone triangulacija

2.4. Python

Python je svestran programski jezik i spada u jezike višeg nivoa. Poprilično je jednostavan i čitljiv, zbog čega je i stekao svoju popularnost. Ima širok opseg biblioteka i podržava objektno-orijentisano i funkcionalno programiranje. Koristi jednostavnu sintaksu na engleskom, što ga čini lakim za čitanje i održavanje. Programi koji su pisani korišćenjem Python programskog jezika se interpretiraju, odnosno izvršavaju se red po red što omogućava brzo i efikasno testiranje i otklanjanje grešaka [5].

Python je kreiran od strane Holandskog programera *Guido van Rossum* – a, kao naslednik ABC programskog jezika na kojem je Rossum radio pre *Python*-a [6].

2.5. Korišćene biblioteke

Za izradu ovog projekta korišćeno je nekoliko Python biblioteka:

NumPy – popularna biblioteka koja se koristi za numeričko računanje i rukovanje sa višedimenzionalnim nizovima [7].

SciPy – biblioteka otvorenog koda, nadovezuje se na *NumPy* ali ima proširenu funkcionalnost [8].

Shapely – biblioteka koja se koristi za geometrijske operacije i prostornu analizu [9].

Mathutils – modul u Blenderu koji se koristi za rukovanje sa matematičkim operacijama u kontekstu 3D grafike.

BPy – Python API (*Application Programming Interface*) za Blender koji služi za razvijanje alata u Blenderu.

Bmesh – sistem za manipulisanje složenom poligonalnom geometrijom.

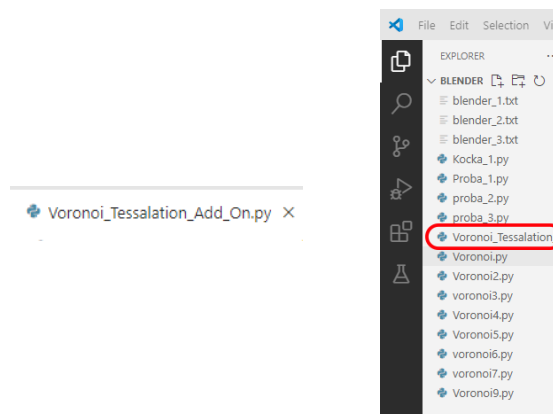
Random – biblioteka koja sadrži funkcije za generisanje nasumičnih brojeva.

2.5. Blender

Blender je besplatni softver otvorenog koda. Podržava ceo 3D proces – modelovanje, animiranje, simulaciju, renderovanje, praćenje pokreta i drugo. Koristi se za kreiranje animiranih filmova, vizuelnih efekata, umetnosti, 3D štampanih modela, a ranije se koristio i za kreiranje video igara. Blender je višeplosni, što znači da radi podjednako dobro na *Windows*, *Linux* i *Machintosh* računarima (operativnom sistemu). Korisnički interfejs koristi *OpenGL* biblioteku [10].

3. PRAKTIČAN DEO

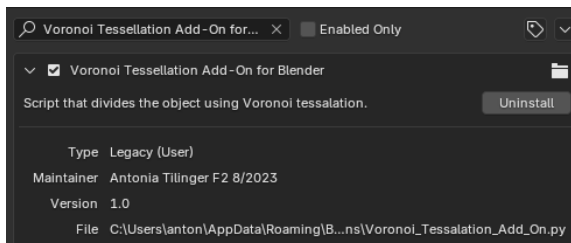
Praktičan deo projekta je podeljen u 3 glavne celine: generisanje nasumičnih tačaka koje predstavljaju generatore Voronoi ćelija, generisanje Voronoi dijagrama i podela objekta korišćenjem *Boolean* operacija. Skripta je pisana u programu *Visual Studio Code*.



Slika 3. Visual studio projekat

3.1. Generisanje tačaka

Prije nego što su se generisale tačke bilo je neophodno napisati rečnik za Blender skriptu podataka koji pruža osnovne metapodatke koje Blender koristi za identifikaciju i prikaz informacija o dodatku koji se kreira. Rečnik sadrži naziv dodatka, minimalnu potrebnu verziju Blendera, kategorija gde se dodatak pojavljuje, opis dodatka, ime autora i verzija dodatka.

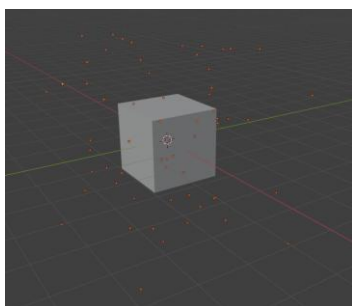


Slika 4. Rečnik

Da bi se tačke generisale prosleđuje se informacija o trenutno selektovanom / aktivnom objektu. Najpre se proverava da li je selektovan neki od objekata u sceni. Ukoliko jeste i proverava se tip objekta, i ukoliko je tipa *mesh* prosleđuje se ime izabranog objekta. Ukoliko nije, program nas obaveštava da nije izabran nijedan objekat i dodatak se zaustavlja.

Za generisanje tačaka uzimaju neophodni su podaci o poziciji objekta i njegovom graničnom okviru. Lokacija se uzima svetska a ne lokalna, jer nam treba lokacija objekta u odnosu na scenu. Granični okvir je definisan minimalnim i maksimalnim vrednostima temena objekta duž svake ose (x, y, z).

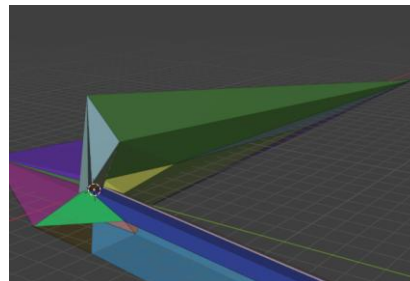
Pored lokacije i graničnog okvira objekta, prosleđuju se parametri za broj tačaka za generisanje i minimalna distanca između tačaka. Minimalna distanca osigurava da su tačke raspoređene. U zavisnosti od broja tačaka koji se generiše, prolazi se kroz petlju dok se sve tačke ne generišu. Tačke se mapiraju na veličinu graničnog okvira objekta po svakoj osi kako bi se nalazile unutar granica objekta. Na kraju se na novogenerisane tačke dodaje nasumični šum kako bi se sprečilo da se tačke nagomilavaju u jednom regionu, i sprečava pojavu degenerisanih regiona u Voronoi dijagramu. Za vizuelizaciju ovih tačaka korišćene su sfere. Na lokacijama tačaka kreirane su UV sfere poluprečnika 0.02, koje se ubacuju u posebnu kolekciju u Blenderu.



Slika 5. Nasumične tačke i njihova vizuelizacija

3.2. Generisanje Voronoi dijagrama

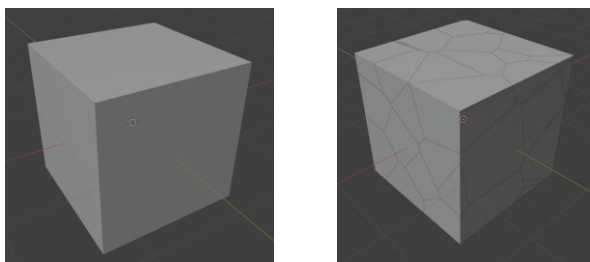
Za generisanje Voronoi dijagrama za nasumične tačke koristi se klasa „*Voronoi*“ iz *SciPy* biblioteke. Objekat „*vor*“ će da sadrži informacije o Voronoi regionima, odnosno ćelijama, koje uključuju poziciju vrhova, ivice i druge geometrijske karakteristike. Za otklanjanje degenerisanih regiona koristi se metoda „*filter_valid_regions*“, čime se obezbeđuje dalja obrada samo značajnih regiona. Svaki region sastoji se od liste indeksa koji se odnose na temena tog regiona. Ukoliko region sadrži indeks -1, koji ukazuje na to da se region proteže u beskonačnost, on se preskače i korisnik se obaveštava o preskočenom regionu. Za svaki važeći region preuzimaju se njegova temena iz niza koji sadrži sve stvarne 3D koordinate svim temena u Voronoi dijagramu. Da bi se formirala Voronoi ćelija neophodno je da region ima minimum četiri temena. Ukoliko region nema četiri temena on se odbacuje. Za regione koji su prošli proveru, svako teme važećeg regiona se ubacuje u posebnu listu. Na kraju se radi vizuelizacija validnih Voronoi regiona. Za svaku ćeliju se kreira nova mreža pomoću Bmesh modula. Koordinate svakog temena se konvertuju u Blenderov vektorski format. Oko ovih koordinata, za svaki region, pravi se konveksni omotač, samim tim formira se Voronoi ćelija. Na kraju se generisana mreža pretvara u običnu mrežu i od nje se kreira Blender objekat koji se ubacuje u kolekciju.



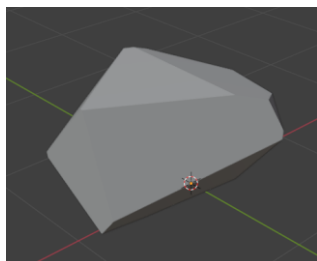
Slika 6. Vizuelizovane Voronoi ćelije

3.3. Boolean operacije

Za sečenje originalnog objekta kreiranim Voronoi ćelijama koristi se Boolean operacija „*intersect*“ koja osigurava da je rezultat operacije presek između originalne mreže objekta i Voronoi ćelije. Kreirana mreža u prethodnom koraku kreirana je radi vizuelizacije, te se postupak kreiranje mreže ponavlja kako bi se ta mreža iskoristila za sečenje objekta. Za svaku ćeliju se kreira logički modifikator, a zatim se njemu dodeljuje originalna mreža. To znači da će se Voronoi ćelija ukrštati sa originalnim objektom. Primenom Boolean modifikatora operacija preseka se završava, a rezultat je presek originalnog objekta i Voronoi ćelije.



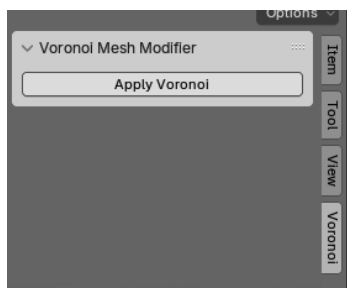
Slika 7. Rezultat Boolean operacije



Slika 8. Jedan segment kocke

3.4. Panel

Radi lakšeg rukovanja dodatkom unutar samog Blendera kreiran je panel koji jednim klikom poziva dodatak. Za to se koristi klasa „*OBJECT_PT_voronoi_panel*“ koja definiše panel u Blenderovom 3D prikazu. Panel će biti kreiran kao kartica u okviru korisničkog interfejsa pod imenom „*Voronoi*“, i sadržaće dugme koje pokreće klasu „*OBJECT_OT_voronoi_tessellation*“ u kojoj se nalazi Voronoi tesalacija.



Slika 9. Panel za Voronoi tesalaciju

4. MOGUĆA UNAPREĐENJA

Očigledno je da se ovaj projekat može znatno poboljšati kako bi se poboljšale performanse, upotrebljivost i pristupačnost. Ova poboljšanja bi omogućila umetnicima da manipulišu granicama proceduralnog modelovanja, a u isto vreme otključava nove kreativne mogućnosti.

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je predstavljanje jednog od načina na koji se Voronoi dijagram može koristiti u računarskoj grafici, kako bi pružio umetnicima i dizajnerima alat za generisanje vizuelno složenih 3D modela. Skripta omogućava automatsku podelu objekta na nepravilne fragmente koji se mogu koristiti u različite svrhe, od apstraktne umetnosti do realističnih simulacija poput napuknute površine.

Glavni izazov pri izradi bile su neograničene Voronoi regije sa indeksom -1. Njihovo odbacivanje rezultiralo je neobrađenim delovima objekta, samim tim neuspešnom Voronoi tesalacijom. Kako bi se ovaj problem zaobišao, iskoristilo se rešenje proširivanja graničnog okvira objekta, kao i povećanje broja nasumičnih tačaka generatora. Na ovaj način, sigurno je da će regija koja je odbačena da bude zamenjena validnom regijom.

6. LITERATURA

- [1] <https://bozidarvladislav.wordpress.com/>
- [2] Tabak, John (2014), Geometry: The Language of Space and Form, Facts on File math library, Infobase Publishing, p. 150, ISBN 978-0-8160-6876-0
- [3] Black, Paul E. "Manhattan distance". Dictionary of Algorithms and Data Structures. Retrieved October 6, 2019
- [4] <https://builtin.com/data-science/voronoi-diagram>
- [5] Python, 3.12.5 Documentation, The Python Tutorial, <https://docs.python.org/3/tutorial/>
- [6] Pajankar Ashwin, Naučite Python 3: brzi kurs programiranja, Agencija Eho, 2022
- [7] <https://numpy.org>
- [8] <https://scipy.org>
- [9] <https://shapely.readthedocs.io/en/stable/manual.html>
- [10] <https://docs.blender.org/api/current/mathutils.html#>
- [11] <https://de.mathworks.com/help/matlab/math/voronoi-diagrams.html>

DOPRINOS, PREDNOSTI I NEDOSTACI PRI IMPLEMENTACIJI BIM SOFTVERA U INŽENJERSKU PRAKSU**CONTRIBUTION, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF IMPLEMENTING BIM IN ENGINEERING PRACTICE**

Milana Marković, vanr. prof. Aleksandar Anđelković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ENERGETSKE TEHNOLOGIJE

Kratak sadržaj – Master rad se sastoji iz teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu objašnjen je pojam BIM-a (Building Information Modelling), način rada u BIM softverima, kao i dimenzije i upotreba u svijetu. Poseban naglasak stavljen je na upotrebu u mašinskom sektoru, u oblasti HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) projektovanja. Prikazani su koraci za pravljenje efikasnog HVAC sistema pomoću BIM-a, prvo u teoriji a zatim i na primjeru, pomoću softvera Revit i LINEAR. Urađeno je poređenje sa klasičnim načinom projektovanja u softverima IntegraCAD i 2D AutoCAD, kako bi se kao rezultat dobile prednosti i nedostaci ovakvog načina rada i ukupan doprinos BIM tehnologija.

Ključne reči: BIM modelovanje, nivoi BIM-a, doprinos u mašinstvu, gubici i dobici toplote, podno grijanje, ventilacija

Abstract – The Master thesis consists of theoretical and practical parts. The theoretical section explains the definitions of BIM (Building Information Modelling), the workflow in BIM software, as well as dimension and applications in the world. Special emphasis is placed on its use in the mechanical sector, specifically in HVAC (Heat, Ventilation and Air Conditioning) design. The steps for creating an efficient HVAC system using BIM are presented first theoretically and then through an example, utilizing Revit and LINEAR software. A comparison is made with traditional design methods using IntegraCAD and 2D AutoCAD software to highlight the advantages and disadvantages of this approach, as well as the overall contribution of BIM technologies.

Keywords: BIM modelling, levels of BIM, contribution in mechanical engineering, heat loads, floor heating, ventilation

1. UVOD

Tokom faze izgradnje objekata, javljaju se razne nepredviđene situacije kao i poteškoće u komunikaciji i koordinaciji usljed nedovoljno informacija.

U građevinskoj struci, ali i mnogim drugim kao što je mašinstvo, ovaj problem može se riješiti usvajanjem BIM-a (Building Information Modelling), za koji se smatra da je tehnologija koja može uvesti značajne promjene u oblasti projektovanja i izvođenja objekata. Evropska federacija građevinske industrije predviđa da će usvajanje BIM-a omogućiti uštede od 15-20% na globalnom tržištu infrastrukture do 2025. godine [1].

BIM nije jedan softver ili jedna stvar, nego ljudska aktivnost koja može bitno uticati na proces promjena u projektovanju. U ovom radu biće prikazani efekti koje pravilna upotreba BIM-a može donijeti svim članovima projektnog tima, kao i organizacioni problemi vezani za implementaciju ovih softvera u postojeći sistem rada. Takođe, prikazan je primjer primjene nekih od BIM softvera (Revit, LINEAR), kao i poređenje sa softverima koji su ranije korišćeni u inženjerskoj praksi (IntegraCAD, 2D AutoCAD). Cilj rada jeste prikazati prednosti koje podstiču veću implementaciju ovog načina rada, kao i poteškoće i nedostatke sa kojim će se susretati budući korisnici.

2. BIM MODELOVANJE**2.1 Pojam BIM-a (Building Information Modelling)**

Stručnjaci iz različitih oblasti inženjerstva, imaju različita mišljenja o tome šta je BIM. Neke od definicija su: „Tehnologija modelovanja i seta povezanih procesa za proizvodnju, komunikaciju i analizu modela zgrada“ („A modelling technology and associated set of processes to produce, communicate and analyse building models.“), kao i : „Novi pristup koji omogućava opisivanje i prikaz informacija potrebnih za dizajn, izgradnju i rad izgrađenih objekata“ („A new approach to being able to describe and display the information required for the design, construction and operation of constructed facilities“).

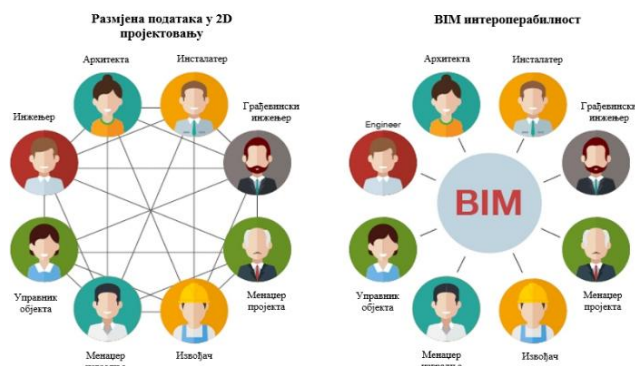
Pored postojanja različitih definicija, postoji jednoglasan dogovor da je BIM proces kombinovanja informacija i tehnologija kako bi se stvorila digitalna reprezentacija projekta. On integriše podatke iz raznih izvora i razvija se paralelno sa stvarnim projektom, tokom cijelog njegovog trajanja. Podaci uključuju informacije o dizajnu, izgradnji i operativnom korišćenju. Ono što je velika prednost, jeste mogućnost izmjene projekta, u bilo kojoj etapi, bez velikih poteškoća [2].

NAPOMENA:

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

2.2 Nivoi BIM modelovanja

U centru BIM-a je informacija. Sve opisne ili kvantitativne informacije koje su povezane sa modelom mogu se lako razmjenjivati između različitih disciplina. Svi ljudi koji rade sa modelom mogu dodati nove informacije u model ili koristiti informacije koje su već unutar modela. Ovakav način rada simbolično je prikazan na Slici 1.



Slika 1 Načini komunikacije u 2D i BIM projektovanju [3]

Prvi softver koji se može smatrati BIM softverom je *ArchiCAD* iz 1987. godine. Na početku, *ArchiCAD* je bio standardni CAD softver, ali kasnije postaje više usmjeren na BIM. Danas postoji mnogo različitih BIM softvera, a neki od najčešće korišćenih su: *ArchiCAD*, *Revit AUTODESK*, *MagicCAD*, *Tekla Structures*, *VectorWorks* i sl.

Termin „Building“ u nazivu, ne odnosi se u potpunosti na zgrade. Ova metodologija se može primjeniti na sve vrste građevinskih projekata. Modele objekata u BIM-u karakteriše definisanje progresije nivoa zrelosti.

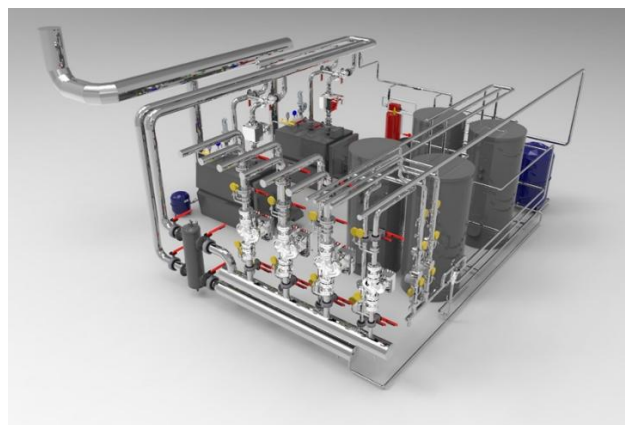
Usvojena su četiri nivoa (Nivo 0 – Nivo 3) koji su postali široko prihvaćena definicija kriterijuma da bi projekat bio označen kao BIM-usaglašen.

- **Nivo 0 BIM** - model je najčešće predstavljen u 2D, sa informacijama koje se dijele putem tradicionalnih papirnih crteža ili, u nekim slučajevima, digitalno putem PDF-a, što su suštinski odvojeni izvori i pokrivaju osnovne informacije o objektu.
- **Nivo 1 BIM** – na ovom nivou trenutno posluje dosta kompanija. Ovaj nivo tipično obuhvata mješavinu 3D CAD-a za konceptualni rad i 2D za izradu dokumentacije. Modeli se ne dijele između članova projektnog tima.
- **Nivo 2 BIM** - Ovaj nivo se razlikuje po kolaborativnom radu - sve strane koriste svoje 3D modele, ali ne rade na jednom zajedničkom modelu. Informacije vezane za dizajn se dijele putem zajedničkog formata datoteka, što omogućava bilo kojoj organizaciji da kombinuje te podatke sa sopstvenim.
- **Nivo 3 BIM** - Ovaj nivo predstavljen je potpunom saradnjom između svih disciplina, korišćenjem jednog zajedničkog modela projekta. Sve strane koje učestvuju na projektu mogu pristupiti i modifikovati taj isti model, a prednost je što se uklanja i rizik od suprotstavljenih informacija [4].

3. BIM TEHNOLOGIJE U MAŠINSTVU

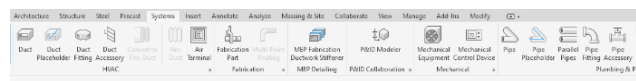
BIM modelovanje, kao što je već rečeno, predstavlja novu i naprednu 3D metodologiju razrade projekata, koja je još uvijek u fazi razvoja. Prvenstveno je razvijena za arhitektonske i građevinske svrhe sa ciljem lakog i brzog stvaranja kvalitetnih 3D modela, dok se danas ova pravila modelovanja mogu koristiti vrlo efikasno i u mašinstvu.

Prvo pojavljivanje BIM modelovanja može se povezati sa 1970-im godinama. Zbog ograničenog tehnološkog razvoja u tom periodu, nije imalo značajan napredak do danas. Danas, BIM postavlja glavne principe modelovanja u oblasti arhitekture, građevinarstva i mašinstva. Glavni cilj BIM-a je da pomogne inženjerima tokom procesa dizajna. To nije samo alat za 3D crtanje, već može pomoći inženjerima da riješe različite probleme, poput analize naprezanja, dinamičkih simulacija, optimizacije dizajna, protoka fluida, prenosa toplote itd. BIM se u mašinstvu najviše koristi za razvoj sistema za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju (HVAC) i nepoznato je koliki potencijal ima za korišćenje u drugim oblastima mašinstva [5]. Na Slici 2 vidimo 3D prikaz mašinske podstanice.



Slika 2 Prikaz podstanice u 3D-u pomoću BIM softvera [6]

Korišćenje BIM tehnologija u mašinstvu neophodno je da bi projekat bio potpun. Obično, BIM softveri imaju posebne odjeljke za mašinski i električni dio projekta, koji se zajednički naziva MEP (*Mechanical, Electrical, Plumbing*), kao što je prikazano na Slici 3. Ove odjeljke, kao i same 3D modele (razmjenjivači toplote, pumpe, ventili i sl.), moraju razvijati inženjeri mašinstva i elektrotehnike.



Slika 3 Odjeljak za MEP sisteme u softveru Revit

4. PROJEKTOVANJE HVAC SISTEMA POMOĆU BIM-A

Efikan dizajn HVAC sistema je ključan za stvaranje udobnih i održivih unutrašnjih prostora. BIM se pokazao kao moćan alat koji unaprijeđuje proces dizajna HVAC sistema, omogućavajući inženjerima da optimizuju energetska efikasnost, poboljšaju performanse sistema i smanje operativne troškove. Kroz primjer proračuna gubitaka i dobitaka za objekat, kao i proračuna podnog grijanja i sistema za ventilaciju, prikazan je doprinos ove tehnologije prilikom projektovanja HVAC sistema.

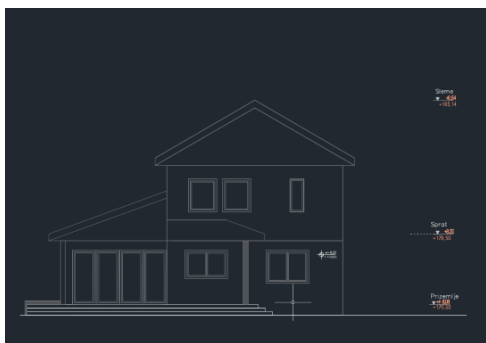
4.1 Proračun gubitaka i dobitaka za objekat

Svaki proračun sistema za grijanja i hlađenje objekta počinje izračunavanjem toplotnog opterećenja tog objekta. Pod toplotnim opterećenjem se podrazumijeva količina toplote potrebna za zagrijavanje prostorija u zimskom periodu – **gubici toplote** i količina toplote potrebna za hlađenje u ljetnjem periodu – **dobici toplote**. U primjeru je posmatran stambeni objekat u Sremskoj Kamenici.

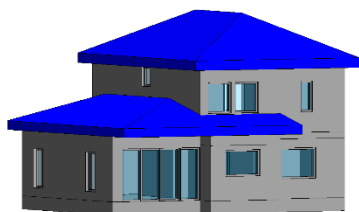
Proračun gubitaka i dobitaka je urađen na dva načina, gdje je prvi način urađen pomoću konvencionalnih softvera *2D AutoCAD* i *IntegraCAD*. Drugi način urađen je pomoću BIM softvera – *Revit* i *LINEAR*.

U oba slučaja je prvobitno bilo potrebno definisati koeficijente prolaza toplote za sve elemente termičkog omotača objekata – zidove, prozore, vrata, pod, krov. Pored toga, definisane su i spoljašnje i unutrašnje projektne temperature, kao i tip zgrade.

Prva razlika između ova dva načina rada jeste da se za potrebe rada u BIM softveru *LINEAR*, posmatrani objekat mora nacrtati u 3D u *Revit*-u. Izgled osnova objekta za prvi i drugi način rada vidimo na Slikama 3 i 4.



Slika 4 Izgled objekta u 2D AutoCAD-u



Slika 5 3D izgled objekta u Revit-u

Tokom rada u programu *IntegraCAD*, da bismo dobili gubitke, za svaku prostoriju manuelno su unošeni elementi koji je čine, kao i dimenzije tih elemenata, što oduzima dosta vremena, a i mogućnost za grešku se povećava.

U drugom načinu rada, razlika je u tome što *LINEAR*, na osnovu datog 3D modela objekta, sam prepoznaje prostorije, i nakon definisanja pomenutih koeficijenata za prolaz toplote, dobijamo vrijednosti gubitaka.

Isti je slučaj i za proračun dobitaka toplote. U prvom slučaju, za svaku prostoriju ručno se unose podaci o broju ljudi u prostorijama, količini toplote dobijenoj od osvjjetljenja, mašina i slično. Sa druge strane, *LINEAR* sam unosi ove podatke u odnosu na prosječnu vrijednost za datu vrstu prostorije. Ukoliko su dobijene vrijednosti izvan realnih okvira, podešavanja je moguće mijenjati ručno.

Na kraju proračuna, prikazane su dobijene vrijednosti za toplotno opterećenje objekta na prvi i drugi način, koje možemo da vidimo u Tabeli 1.

Tabela 1 Prikaz vrijednosti za gubitke i dobitke objekta

	I način 2D AutoCAD, IntegraCAD	II način Revit, LINEAR
Toplotni gubici objekta	12 152 W	14 040 W
Toplotni dobitci objekta	9 387 W	8 381 W

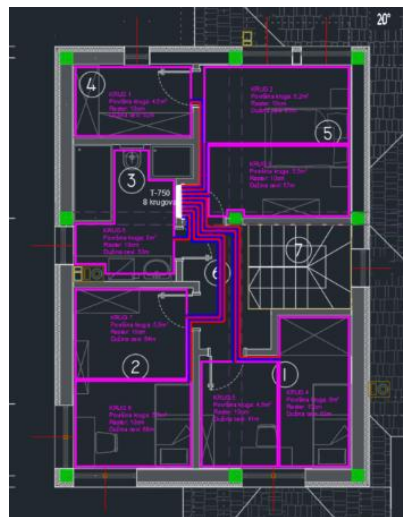
Vidimo da razlika u dobijenim krajnjim vrijednostima nije velika, a do razlike su dovele razlike u vrijednostima koeficijenata za prolaz toplote, na koje treba obratiti posebnu pažnju.

Vrijeme izrade proračuna je znatno manje u drugom slučaju, zbog izbjegavanja reperativne radnje pojedinačnog unošenja podataka za prostorije.

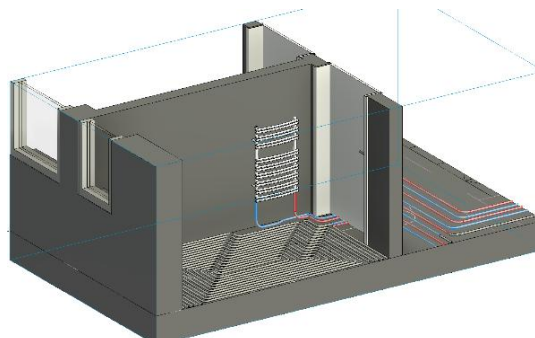
4.2 Proračun podnog grijanja

Za isti objekat prikazano je i dimenzionisanje sistema za podno grijanje na osnovu izračunatih gubitaka toplote iz prošlog primjera. Podno grijanje predstavlja niskotemperaturni sistem grijanja, gdje temperatura potisa i povrata iznosi 40-45/35-40 °C i gdje razlika temperature (Δt) obično iznosi 5-10 °C.

Proračun je ponovo urađen pomoću 2 softvera-*IntegraCAD* i *LINEAR*, a na Slikama 6 i 7 pokazani su i načini prikaza podnog grijanja na crtežima; u *AutoCAD*-u u prvom slučaju i *Revit*-u u drugom slučaju.



Slika 6 Prikaz cijevi za podno grijanje u AutoCAD-u



Slika 7 Prikaz podnog grijanja u Revit-u

Prilikom izrade proračuna u softveru IntegraCAD, potrebno je za svaku prostoriju pojedinačno unijeti krugove, njihove površine i dužine spojnih cijevi. Na osnovu toga, dobija se ukupno odata količina toplote.

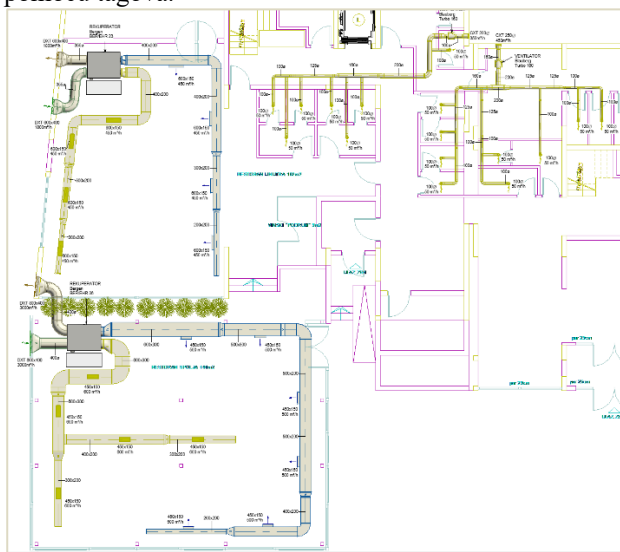
Prilikom rada u softveru LINEAR, potrebno je samo označiti površine gdje želimo postaviti krugove i zatim ih softver sam ubacuje u model, nakon čega dobijamo 3D prikaz kao na Slici 7.

Prednosti koje se uočavaju pri ovom načinu rada su mnoge: izbjegavanje ručnog unošenja krugova, što nam donosi uštedu u vremenu; automatsko označavanje krugova pomoću predefinisanih tagova, koji sadrže bitne informacije za taj sistem; takođe i vjerodostojniji prikaz cijevi na modelu, koji može doprinijeti lakšem i bržem izvođenju.

4.3 Sistem za ventilaciju

Pored grijanja i hlađenja, da bi se obezbijedio prijatan boravak u prostorijama, potrebno je obezbijediti svjež vazduh - ventilisati prostor. Ventilacija podrazumijeva proces izmjene vazduha u nekom zatvorenom prostoru, da bi se kontrolisao kvalitet vazduha, količina vlage, mirisa, dima, kao i da bi se unio svjež vazduh.

Na Slici 8 imamo prikazana dva sistema za ventilaciju sa rekuperatorima, kao i sisteme za ventilaciju kupatila pomoću klasičnih plafonskih ventilatora. Oznake za sve uređaje, kao i za dimenzije kanala i rešetke ubačene su pomoću tagova.



Slika 8 Prikaz sistema za ventilaciju

Ukoliko se radi o kompleksnijem sistemu za ventilaciju, pomoću opcije *Schedule* u Revit-u, moguće je definisati izvještaj u zavisnosti od toga koje dimenzije su nam potrebne. Takođe je moguće klasifikovati elemente po kategorijama (npr. samo pravougaoni kanali), kao i sumirati neke dimenzije. Ovakva opcija znatno olakšava pravljenje premjera i predračuna za potrebnu opremu, kada dođe do izvođenja objekta.

5. PREDNOSTI I NEDOSTACI BIM-a

Na kraju rada, moguće je sumirati prednosti i nedostatke implementacije BIM softvera u inženjersku praksu:

Prednosti - jasna komunikacija; “šta ako” analiza dizajna; lakša detekcija preklapanja i revizija; garantovano planiranje i rad; bolja kontrola nad troškovima; rast produktivnosti; održivo projektovanje i izgradnja.

Nedostaci – visoka početna investicija u softvere; više različitih BIM softvera; potrebna obuka na svim nivoima korišćenja softvera; nedostatak BIM stručnjaka; neusaglašenost sa krajnjim izvođačem.

Glavne prednosti rada u BIM-u, tokom izrade primjera, su ušteda na vremenu, usljed izbjegavanja repetitivnih radnji tokom proračuna gubitaka i dobitaka, kao i podnog grijanja; realan 3D prikaz sistema, koji doprinosi smanjenju grešaka pri izvođenju; prikaz informacija koje jednostavno unosimo u projekat pomoću tagova i mogućnost generisanja izvještaja pomoću opcije *Schedule*.

6. ZAKLJUČAK

Doprinos BIM-a u ukupnoj izradi objekta ogroman, dok se u oblasti mašinstva, doprinos najviše vidi u oblasti projektovanja HVAC sistema. Kroz primjer mogle su se jasno vidjeti glavne prednosti rada u ovim softverima: poboljšana komunikacija, smanjenje vremena izrade projekta, vjerodostojniji prikaz elemenata pomoću 3D modela i druge.

Može se zaključiti da će, uz stalni napredak i podsticanje korišćenja u budućnosti, BIM postati standard za realizaciju javnih infrastrukturnih projekata širom svijeta.

7. LITERATURA

- [1] “Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector, Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth”, EU BIM Task Group, 2017.
- [2] I. B. Kjartansdóttir, S. Mordue, P. Nowak, D. Philp, J. T. Snæbjörnsson, “Building Information Modelling BIM”, Iceland, Great Britain, 2017.
- [3] <https://biblus.accasoftware.com/en/what-is-bim-and-what-is-it-for-everything-you-need-to-know/> (pristupljeno u avgustu 2024.)
- [4] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz, “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers”, Third Edition, New Jersey, Wiley, 2018.
- [5] E. Huskić, A. J. Muminovic, I. Saric, N. Pervan, “BIM Modeling in Mechanical Engineering”, ResearchGate, 10.1007/978-3-031-05230-9_19, 2022.
- [6] <https://www.cgtrader.com/3dmodels/industrial/other/industrial-boiler-room> (prestupljeno u avgustu 2024.)



Milana Marković rođena je u Bijeljini 1999. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetskih tehnologija je odbranila 2024. godine.
Kontakt:
markovicjovic.99@gmail.com