УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ЗБОРНИК РАДОВА
ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке - зборници
Година: XXXIX
Број: 2/2024

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“
Година: XXXIX Свеска: 2

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

Уредништво:

Проф. др Срђан Колаковић
Проф. др Александар Купусинац
Проф. др Борис Думнић
Проф. др Дарко Стефановић
Проф. др Себастиан Балош
Проф. др Дејан Лукић
Проф. др Јован Дорић
Проф. др Мирослав Кљајић
Проф. др Немања Тасић
Проф. др Дејан Убавин
Проф. др Милан Видаковић
Проф. др Мирјана Дамњановић
Проф. др Јелена Атанацковић Јеличић
Проф. др Игор Пешко
Проф. др Драган Јовановић
Проф. др Небојша Ралевић
Доц. др Сања Ожват
Проф. др Немања Кашиковић
Проф. др Теодор Атанацковић

Редакција:

Проф. др Дарко Стефановић, главни уредник
Проф. др Жељен Трповски, технички уредник
Проф. др Драгољуб Новаковић
Проф. др Иван Пинђјер
Бисерка Милетић

Језичка редакција:
Бисерка Милетић, лектор
Софија Рацков, коректор
Мр Марина Катић, преводилац

Савет за библиотечку и издавачку делатност ФТН,
проф. др Стеван Станковски, председник.

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

CIP-Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

378.9(497.113)(082)
62

ЗБОРНИК радова Факултета техничких наука / главни и одговорни уредник
Срђан Колаковић. – Год. 7, бр. 9 (1974)-1990/1991, бр.21/22 ; Год. 23, бр 1 (2008)-. – Нови Сад : Факултет техничких наука, 1974-1991; 2008-. – илустр. ; 30 цм. –(Едиција: Техничке науке – зборници)

Месечно

ISSN 0350-428X

COBISS.SR-ID 58627591

ПРЕДГОВОР

Поштовани читаоци,

Пред вама је друга овогодишња свеска часописа „Зборник радова Факултета техничких наука“.

Часопис је покренут давне 1960. године, одмах по оснивању Машинског факултета у Новом Саду, као „Зборник радова Машинског факултета“, а први број је одштампан 1965. године. Након осам публикованих бројева у шест година, пратећи прерастање Машинског факултета у Факултет техничких наука, часопис мења назив у „Зборник радова Факултета техничких наука“ и 1974. године излази као број 9 (VII година). У том периоду у часопису се објављују научни и стручни радови, резултати истраживања професора, сарадника и студената ФТН-а, али и аутора ван ФТН-а, тако да часопис постаје значајно место презентације најновијих научних резултата и достигнућа. Од броја 17 (1986. год.), часопис почиње да излази искључиво на енглеском језику и добија поднаслов «Publications of the School of Engineering». Једна од последица нарастања материјалних проблема и несрећних догађаја на нашим просторима јесте и привремени прекид континуитета објављивања часописа двобројем/двогодишњаком 21/22, 1990/1991. год.

Друштво у коме живимо базирано је на знању. Оно претпоставља реорганизацију наставног процеса и увођење читавог низа нових струка, као и квалитетну организацију научног рада. Значајне промене у структури високог образовања, везане за имплементацију Болоњске декларације, усвајање нове и активне улоге студената у процесу образовања и њихово све шире укључивање у стручне и истраживачке пројекте, као и покретање нових мастер и докторских студија, доносе потребу да ови, веома значајни и вредни резултати, постану доступни академској и широј јавности. Оживљавање „Зборника радова Факултета техничких наука“, као јединственог форума за презентацију научних и стручних достигнућа, пре свега студената, обезбеђује услове за доступност ових резултата.

Због тога је Наставно-научно веће ФТН-а одлучило да, од новембра 2008. год. у облику пилот пројекта, а од фебруара 2009. год. као сталну активност, уведе презентацију најважнијих резултата свих мастер радова студената ФТН-а у облику кратког рада у „Зборнику радова Факултета техничких наука“.

Поред студената мастер студија, часопис је отворен и за студенте докторских студија, као и за прилоге аутора са ФТН или ван ФТН-а.

Зборник излази у два облика – електронском на web сајту ФТН-а (www.ftn.uns.ac.rs) и штампаном, који је пред вама. Обе верзије публикују се сваки месец, у оквиру промоције дипломираних мастера.

У овом броју штампани су радови студената мастер студија, сада већ мастера, који су радове бранили у периоду од 27.09.2023. до 27.10.2023. год., а који се промовишу 22.03.2024. год. То су оригинални прилози студената са главним резултатима њихових мастер радова.

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

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

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

- машинства,
- грађевинарства,
- саобраћаја,
- графичког инжењерства и дизајна и
- инжењерства заштите на раду и заштите животне средине.

У свесци са редним бројем 3. објављени су радови из области:

- електротехнике и рачунарства и
- инжењерства информационих система.

У свесци са редним бројем 4. објављени су радови из области:

- архитектуре,
- мехатронике,
- математике у техници,
- геодезије и геоматике и
- планирања и управљања регионалним развојем.

У свесци са редним бројем 5. објављени су радови из области:

- инжењерског менаџмента,
- биомедицинског инжењерства и
- анимација у инжењерству.

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

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

„Високо место у друштву најбољих“

Уредништво

SADRŽAJ

STRANA

Radovi iz oblasti: Mašinstvo

1. Марко Уљаревић, Младомир Милутиновић,
   СИМУЛАЦИЈЕ ВАЉАЊА ПРСТЕНАСТИХ ЕЛЕМЕНАТА ВЕЛИКИХ ДИМЕНЗИЈА 167-170
2. Valentina Đuraš,
   INTEGRACIJA LEAN PRINCIPA I ODRŽIVE PROIZVODNJE U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI.... 171-174
3. Tamaš Tot, Sanja Bojić,
   OPTIMIZACIJA PROIZVODNIH PROCESA PRIMENOM SIMULACIJA U KOMPANIJI
   BIOELEMENTS D.O.O 175-178
4. Ђорђе Пуповац,
   РАЗВОЈ ВИРТУЕЛНОГ ПРОТОТИПА МАШИНЕ АЛАТКЕ БАЗИРАНЕ НА O-X GLIDE
   МЕХАНИЗМУ 179-182
5. Милош Тојагић,
   РАЗВОЈ ПОСТПРОЦЕСОРСКОГ МОДУЛА ЗА ПРОГРАМИРАЊЕ НУМЕРИЧКИ
   УПРАВЉАНИХ МАШИНА АЛАТКИ ЗА ОБРАДУ СТРУГАЊЕМ 183-186
6. Сања Симић,
   ПРИМЈЕНА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА У ИЗБОРУ СТРАТЕГИЈЕ
   ТЕХНИЧКОГ ОДРЖАВАЊА 187-190
7. Dušan Marić, Borislav Savković,
   REKONSTRUKCIJA EKOLOŠKO TEHNOLOŠKOG SISTEMA ZA SAGOREVANJE FLUIDA U
   POGONU ZA PRIPREMU I TRANSPORT NAFTE I GASA 191-195
8. Милош Ђукић, Драган Живанић,
   ПРОЈЕКАТ МОДИФИКАЦИЈЕ УРЕЂАЈА ЗА ПОМЈЕРАЊЕ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА 196-199
9. Дарио Јошић, Никола Иланковић,
   СТАТИЧКО ИСПИТИВАЊЕ И ВЕРИФИКАЦИЈА ПРИМЕНОМ МКЕ СТАЗЕ МОДЕЛА
   МОСНЕ ДИЗАЛИЦЕ 200-203

STRANA

10. Dragan Tomić, Mario Šokac,
PRIMENA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA KOD REDIZAJNA NOSAČA TRAČNE TESTERE ZA METAL 204-207
11. Mile Đurić, Borislav Savković,
PREDIKTIVNO MODELOVANJE HRAPAVOSTI POVRŠINE PRI OBRADI GLODANJEM LEGURE TITANIJUMA Ti-6Al-4V UZ UPOTREBU MAŠINSKOG UČENJA 208-212
12. Ivan Vizmeg,
ANALIZA I MERE UNAPREĐENJA SISTEMA DALJINSKOG GREJANJA TOPLANE U RUMI 213-216

Radovi iz oblasti: Građevinarstvo

1. Aleksandar Tadić,
PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA ZGRADE OSNOVNE ŠKOLE ,,14. OKTOBAR“ U DRAGINCU 217-220
2. Lazar Aleksandrić, Andrija Rašeta,
POREĐENJE UTICAJA OD VERTIKALNOG SAOBRAĆAJNOG OPTEREĆENJA NA ARMIRANO-BETONSKOM PREDNAPREGNUTOM MOSTU NA DVA POLJA 221-224
3. Stefan Ilić,
PLANIRANJE IZGRADNJE STAMBENO POSLOVNOG OBJEKTA SA IZBOROM NAJPOVOLJNIJEG TIPA FASADNOG ZIDA NA NIVOU POTKROVLJA 225-227
4. Stefan Čumić,
ANALIZA EMISIJA CO_2 U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI UZ POMOĆ BIM TEHNOLOGIJE 228-230
5. Slavenko Krstić,
PRORAČUN ČELIČNE HALE PREMA EVROKODU I UPOREDNA ANALIZA KRANSKE STAZE PREMA EVROKODU I SRPS-U 231-234
6. Јована Стевић,
ИЗГРАДЊА ПРЕФАБРИКОВАНИХ ХАЛА 235-238
7. Синиша Џакула,
ИДЕЈНО РЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ ЗЕМЉИШТА У МАГЛИЋУ 239-242
8. Радош Перуничић,
ПРОЈЕКАТ РЕКОНСТРУКЦИЈЕ РАСКРСНИЦЕ УЛИЦА “БУЛЕВАР ЕВРОПЕ” И ”ФУТОШКИ ПУТ” У НОВОМ САДУ 243-246
9. Marija Vujičić, Matija Stipić,
IDEJNO RJEŠENJE KANALIZACIJE OTPADNIH VODA NASELJA ČURUG 247-250
10. Тамара Љубоја,
ИДЕЈНО РЈЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ ЗЕМЉИШТА У ЧЕНЕЈУ 251-254
11. Снежана Суџум,
ИДЕЈНО РЈЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ ЗЕМЉИШТА ШЕЛЕВРЕНАЦ .. 255-258

Radovi iz oblasti: Saobraćaj

1. Дарко Чутурић,
КУЛТУРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА 259-262
2. Марина Лукић,
АНАЛИЗА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ПРОЦЕСУ РАЗВОЈА ПРОЈЕКТА 263-266

STRANA

Radovi iz oblasti: Grafičko inženjerstvo i dizajn

1. Tamara Babić, Ivana Jurič,
   ANALIZA I KONTROLA KVALITETA REDUKCIJE ŠUMA NA DIGITALNIM FOTOGRAFIJAMA 267-270
2. Andrea Salma, Savka Adamović,
   EMISIJE INDIVIDUALNIH I UKUPNIH LAKOISPARLJIVIH ORGANSKIH JEDINJENJA IZ OFSET I TAMPON GRAFIČKIH BOJA 271-274
3. Филип Богдановић, Немања Кашиковић, Растко Милошевић,
   ПОНОВЉИВОСТ ШТАМПЕ НА ЕЛЕКТРОФОТОГРАФСКИМ СИСТЕМИМА RICOH PRO 8100SE, RICOH PRO C7100X И RICOH PRO C7200X..... 275-278
4. Tara Milačić, Savka Adamović,
   PROCENA RIZIKA TOKOM IZRADE ŠTAMPANIH KOMPOSTABILNIH KESA..... 279-282
5. Mirjana Đorđević, Savka Adamović,
   ANALIZA GRAFIČKOG OTPADA GENERISANOG TOKOM PROIZVODNJE PAPIRNIH PAKOVANJA ZA PEKARE 283-286

Radovi iz oblasti: Inženjerstvo zaštite na radu i zaštite životne sredine

1. Paulina Despotović, Dragan Adamović,
   BEZBIJEDNOST I ZDRAVLJE NA RADU U PROCESIMA ZAVARIVANJA 287-290
2. Una Šašić, Dragan Adamović,
   PROCENA RIZIKA - TEHNOLOG U PROIZVODNJI DETERDŽENATA I SREDSTAVA ZA DEZINFEKCIJU..... 291-294
3. Јелена Кулић, Маја Петровић,
   ПРОЦЕНА РИЗИКА НА РАДНИМ МЕСТИМА И У РАДНОЈ ОКОЛИНИ ОСНОВНЕ ШКОЛЕ „МАРИЈА ТРАНДАФИЛ" 295-298

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 621.771:669
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM01Uljarevic

СИМУЛАЦИЈЕ ВАЉАЊА ПРСТЕНАСТИХ ЕЛЕМЕНАТА ВЕЛИКИХ ДИМЕНЗИЈА

RING ROLLING SIMULATIONS OF ELEMENTS WITH LARGE DIMENSIONS

Марко Уљаревић, Младомир Милутиновић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област - МАШИНСТВО

Кратак садржај - *Технологија ваљања прстенова је веома заступљена и користи се за израду радних предмета широког спектра димензија, облика и материјала. У оквиру овог рада приказан је део пројектовања технолошког поступка израде прстенастог радног предмета великих димензија, процесом радијалног ваљања у топлом стању, који се односи на симулација самог процеса и оптимизацију претходно прорачунатих параметара.*

Кључне ријечи - *Нумеричке симулације, ваљање прстенова, топло ваљање, ковање*

Abstract - *Ring rolling technology is widely used in the manufacture of part of various dimensions, shapes, and materials. This paper presents a part of the design procedure of technology for producing of large-sized rings by the process of radial rolling in a hot, which includes the process simulation and optimization of previously calculated parameters.*

Keywords: *Numerical simulations, ring rolling, hot rolling, forging.*

1. УВОД

Метода ваљања прстенова се користи за производњу бешавних прстенова од различитих материјала у широком спектру димензија. Најчешће се користи за израду челичних прстенова, али се такође користи за легуре алуминијума, легуре титанијума, композитне металне прстенове и полимере. Ваљање прстенова спада у континуалне процесе инкременталног деформисања, код кога се помоћу система ваљака (равних или профилисаних) обликује припремак облика шупљег дебелозидног прстена на начин да се његов пречник повећава уз истовремено смањење дебљине [1].

Предности ваљања прстенова укључују: кратко вријеме производње, ефикасну употребу материјала, уједначен квалитет, глатке површине и блиске геометријске толеранције које доводе до значајних уштеда енергије и рада.

Област примјене методе ваљања прстенова је врло широка, неки од најзаступљенијих производа су:

- Прстенови котрљајних лежајева,
- Прстенасти елементи кућишта (силоси, ракете, реактори),
- Прирубнице и слични елементи,
- Точкови за шинска и друга возила [1].

У склопу овог рада дат је приказ могућности примене нумеричких симулација за пројектовање процеса радијалног ваљања у топлом стању. На самом почетку описани су поступци ваљања прстенова и дате најважније карактеристике ове технологије

Симулација процеса ваљања прстена је извршена у софтверу Simufact Forming, и базирана је на методи коначних елемената. Метода коначних елемената спада у методе дискретне анализе. Заснива се на дискретизацији (подјели), простора на више коначних елемената. Коначни елементи могу бити различитог облика: троугао, квадрат, хексаедар и слично, они заједно чине мрежу коначних елемената [3].

У случају обраде ваљањем допринос симулација се огледа у следећем:

- Смањење времена развоја производа,
- Боље искоришћење машина,
- Боље разумијевање процеса,
- Оптимизација процеса и избјегавање грешака и уштеда материјалних средстава.

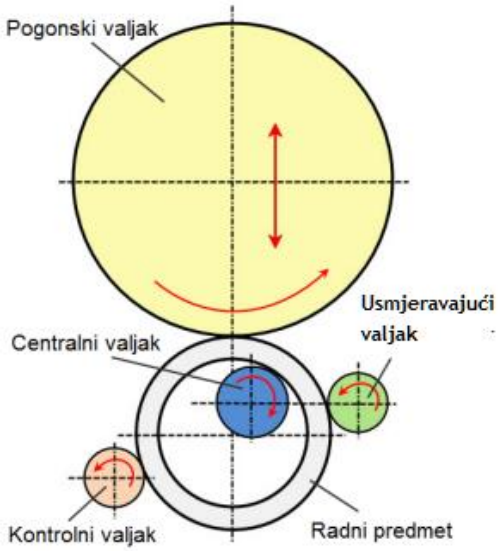
2. ПРИКАЗ ТЕХНОЛОГИЈЕ ВАЉАЊА

Технологија ваљања прстенова може се поделити на две методе, а то су радијално и радијално-аксијално ваљање. На слици 2.1 дат је приказ шеме радијалног ваљања, процеса који је анализиран у склопу овог рада. Код ове методе користе се два (основна) ваљка, а то су: унутрашњи ваљак који врши обртање око своје осе али и транслаторно кретање ка великом ваљку, који је непомичан у радијалном правцу и само врши обртно кретање, супротно од малог ваљка. На тај начин долази до деформације радног предмета и редукције дебљине зида. Поред поменутих ваљака, у различитим изведбама машина за радијално или радијално-аксијално ваљање, углавном фигуришу и два помоћна ваљка, контролни ваљак и усмјеравајући ваљак, који имају функцију одржавања тачности геометрије радног комада, а немају функцију у деформисању истог [2].

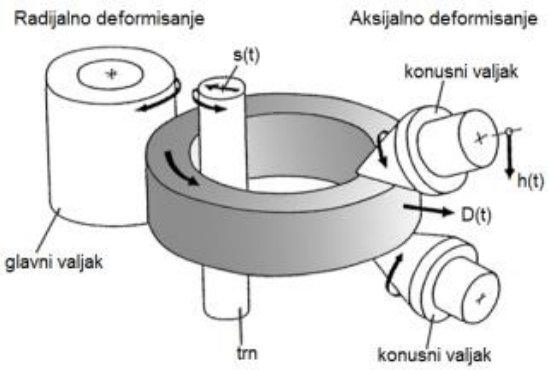
Други тип ваљања представља радијално-аксијално ваљање, гдје поред редукције дебљине зида, имамо и

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Младомир Милутиновић ванр. проф.

редукцију висине радног предмета помоћу два додатна ваљка која дјелују у аксијалном правцу обртањем око своје осе и транслаторним кретањем један ка другом (Слика 2.2) [1].



Слика 2.1 Шема радијалног ваљања [1]



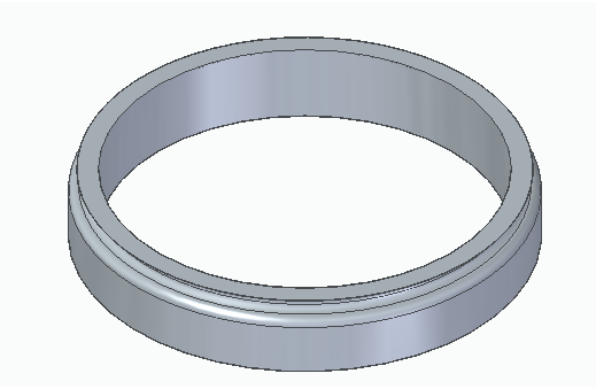
Слика 2.2 Шема радијално - аксијалног ваљања [1]

3. СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ВАЉАЊА

Simufact Forming је један од реномираних софтвера за симулације процеса обликовања и спајања материјала, који је базиран на принципима методе коначних елемената и методе коначних запремина, о чему је било ријечи у уводном дијелу текста. Simufact омогућава извођење 2D и 3D симулација. У склопу овог рада биће приказана 3D симулација радијалног ваљања, како би добили готов производ. У наставку текста дат је приказ генерисања симулације процеса ваљања као и анализа резултата. На слици 3.1 дат је приказ коначног изгледа радног комада са задатим димензијама [3].

На основу аналитичког прорачуна извршен је избор параметара процеса који су коришћени у симулацији. Такође је на основу геометрије радног предмета извршен дизајн и моделовање алата за ваљање, а то су контурни и унутрашњи ваљак. На слици 3.2 дат је приказ контурног ваљка који има комплементарну контуру профилу радног предмета.

Слика 3.1 Приказ готовог производа



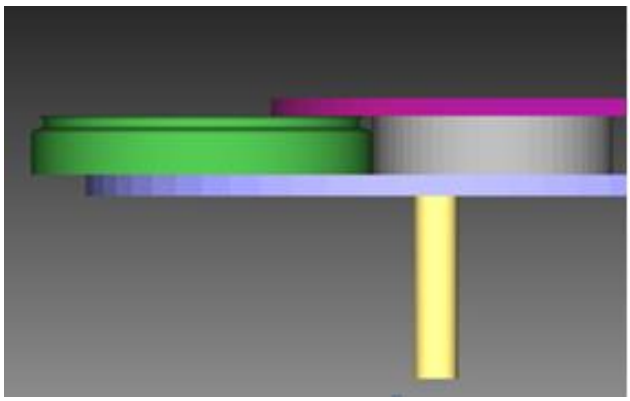
Слика 3.2 Приказ контурног (спољашњег) ваљка

По завршетку моделовања потребних алата, извршенн је увоз геометрије и дефинисање потребних параметара у софтверу Simufact Forming.

Након покретања програма, првобитно бирамо опцију за симулацију процеса ваљања прстена (Ring rolling), гдје нам аутоматски софтвер нуди да изаберемо број алата који се користе, тип нумеричке методе прорачуна, која је у датом случају, метода коначних елемената, амбијенталну температу и одабир између хладне и топле обраде, гдје се бира топла обрада, пошто се процес одвија изнад температуре рекристализације.

У случају ваљања прстена, температура коју користимо за задати материјал (EN42CrMo4) је 1240°C, док је температура алата 150-200°C

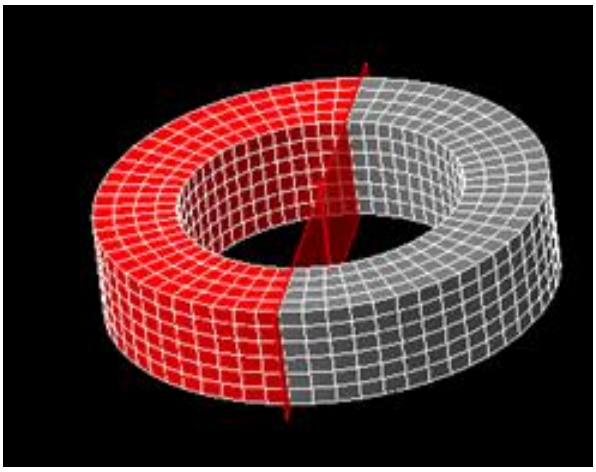
На слици 3.3 дат је приказ позиционираних алата и радног предмета, гдје су приказана 4 алата, односно два алата у виду унутрашњег и спољашњег ваљка, дно и граничник који врше функцију стола пресе и дијела који спријечава помјерање радног предмета у аксијалном правцу у току процеса. У фази препроцесирања генерисан је одговарајући 3D модел припремка што је између осталог подразумело усвајање материјала (EN42CrMo4) радног предмета температуре обраде, мреже коначних елемената и критеријума премрежавања (Remeshing criteria-Ringmesh). Ваљцима је задата температура од 150 °C, док дно и граничник имају задату температуту од 200 °C.



Слика 3.3 Приказ позиционираних алата са радним предметом

Поред температуре, јако битан параметар представља трење. У симулацији је коришћен модел аутоматског избор модела трења, код кога се дефинише квалитет подмазивања тј. коефицијенти подмазивања између елемената, а солвер аутоматски прорачунава коефицијент трења преко једне од три опције као што су (Coulumb, Shear, Combined). Усвојени су следећи коефицијенти подмазивања: велики ваљак 0,8 процената што представља лошије подмазивање, док за мали ваљак задајемо 0.2, а дно и граничник имају максималну вриједност подмазивања, фактор трења нула.

Након одабира модела трења, извршено је дефинисање машине, која ради на принципу табеларног уношења података за двије врсте кретања, а то су ротација и транслација, гдје су унијете вриједности добијене претходним прорачуном. Избором машине комплетирана је фаза пре-процесирања МКЕ модела и следећем кораку је покренута симулација. На слици 3.4. дат је приказ припремка за ваљање са генерисаном мрежом коначних елемената.

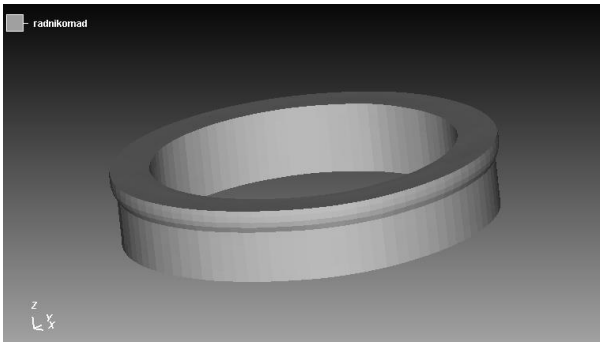


Слика 3.4 Приказ припремка са мрежом коначних елемената

4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈА

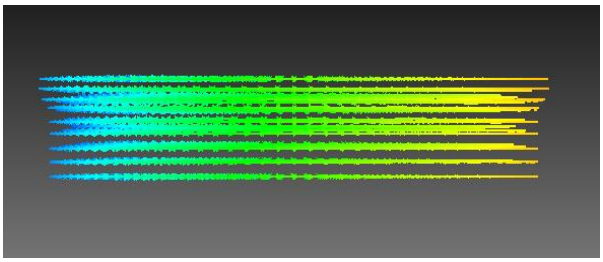
У склопу резултата добија се увид у промјену температурног поља радног предмета, контактни притисак, 3D приказ напрезања, као и приказ пластичне деформације и тока материјала. Оно што је најбитнији резултат јесте, промјена геометрије односно приказ течења и деформисања материјала. На слици 4.1 дат је приказ коначног облика радног предмета након 9 секунди обраде ваљањем.

Постигнута је редукција дебљине зида припремка и повећање пречника на одговарајуће димензије. Увидом у резултате симулације примјећује се да није дошло до комплетног попуњавања шупљине алата, односно контуре спољашњег ваљка, па самим тим немамо савршен профил радног предмета са спољашњим жљебом на врху радног предмета.



Слика 4.1 Приказ радног предмета са краја симулације

На слици 4.2 дат је приказ течења материјала у току процеса ваљања.



Слика 4.2 Приказ течења материјала

Анализом више симулација овог процеса, установљено је приближно поклапање добијених резултата, у погледу дужине трајања процеса са онима добијеним у аналитичком прорачуну.

Као што је речено у уводном дијелу текста, симулације процеса обраде нам омогућавају боље разумијевање датог процеса обраде. Након прве симулације изведен је закључак да се радни предмет деформисао до величине крајњег задатог пречника у склопу прорачунатог времена, али да је дошло до непотпуног развоја профила обрадка, у погледу стварања комплетног радијусног дијела на врху радног предмета. Стога је извршена још једна симулација, гдје су смањене димензије радног предмета, како би поспјешили попуњавање контуре спољашњег ваљка.

Симулација са редукованим димензијама није довела до значајног побољшања попуњавања контуре. Дошло је до удвостручавања времена трајања обраде као и већег потхлађења радног предмета што лоше утиче на процес деформисања. Стога су извршене додатне

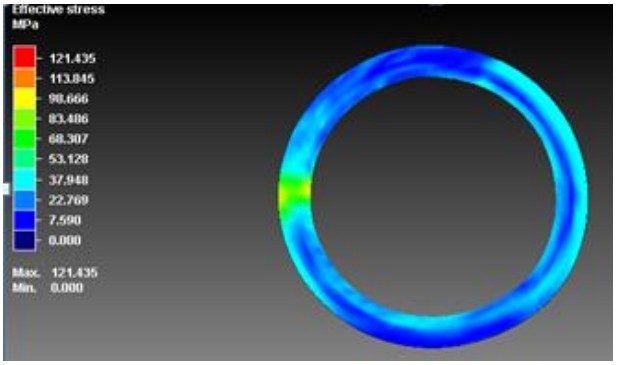
симулације са различитим параметрима процеса ваљања који су приказани у табели 4.1.

На крају су усвојене оптималне димензије припремка: **Dp=360 mm** и спољашњи пречник прстенастог припремка (**D0 = 570 mm**), висина (**H = 133mm**).

Pomak Δh [mm/ob]		Vrijeme obrade [s]	Sila [kN]	Moment [Nm]	Snaga [kW]
1	v=1m/s	9	283.2	2656.5	42.7
	v=0.7m/s	12	198.3	1859.6	29.9
	v=0.5m/s	18	141.6	1328.3	21.4
2	v=1m/s	5	403.6	5342.3	85.9
	v=0.7m/s	1	281.1	3739.5	60.1
	v=0.5m/s	10	200.8	2671.2	42.9

Табела 4.1 Приказ параметара процеса

На слици 4.3 дат је приказ напона у радном комаду на крају процеса обраде, одакле се јасно види положај зоне пластичног деформисања у мјесту додира ваљака.



Слика 4.3 Распоред напона у обрадку

5. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе литературе и резултата симулација изведени су следећи закључци у погледу предности и мана технологије ваљања прстенова.

Неки од главних недостатака су:

- Појава грешака у геометрији (одступање од кружности, таласање, радијална удубљења),
- Лоше попуњавање алата при профилном ваљању, радни комад тежи деформисању у правцу ширења пречника,
- Немогућност израде прстенова са сложенијом геометријом.

Сви претходно поменути изазови делимично се могу решити повећањем масе тј. дебљине зида прстенастог припремка у процесу ваљања. Међутим, са повећањем дебљине зида припремка продужава се процес ваљања, јављају се већи топлотни губице и веће је оптерећење на ваљке.

Софтвери попут *Simufact.forming-a* значајно олакшавају пројектовање и оптимизацију технолог поступка процеса ваљања прстенова. Нумеричке симулације дају прилику конструкторима за превазилажење различитих изазова и грешака у процесу пројектовања прије самог покретања производње што између осталог омогућава знатне уштеде у времену и новцу.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Mladomir Milutinović, Milija Kraišnik: Nekonvencionalni postupci obrade plastičnim deformisanjem, 2019

[2] Julian M. Allwood, A. Erman Tekkaya, Timothy F. Stanistreet, *The Development of Ring Rolling Technology, 2005.*

[3] Mandić V., *Fizičko i numeričko modeliranje procesa obrade deformisanjem,* 2012

Кратка биографија:

Марко Уљаревић рођен је у Требињу 1999. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука у Новом саду, из области Машинства- Производно машинство, одбранио је 2022 год.

Младомир Милутиновић рођен је у Ариљу 1967 год. Докторску дисертацију одбранио је 29. маја 2013. године на Факултету техничких наука у Новом Саду. У звање доцента изабран 24.10.2013. Аутор и коаутор преко 120 научних и стручних радова. Аутор универзитетског уџбеника и практикума лабораторијских вежби. Учествовао у реализацији већег броја научно-истраживачких пројеката.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 621.9
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM02Djuras

INTEGRACIJA LEAN PRINCIPA I ODRŽIVE PROIZVODNJE U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

INTEGRATION OF LEAN PRINCIPLES AND SUSTAINABLE PRODUCTION IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Valentina Đuraš, *Fakultet tehničkih nauka,* Novi Sad

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – *Cilj savremenih kompanija jeste da se proces proizvodnje vrši sa što manjim gubicima i minimiziranjem bespotrebnog trošenja resursa. S obrzirom da Lean koncept teži ka smanjenju otpada, upotreba prirodnih resursa, a održiva proizvodnja, odnosno tzv. Zelene fabrike koriste reciklirane materijale, radi se na redizajnu procesa, zamjeni, rastavljanju, ponovnoj proizvodnji, itd, Lean proizvodnja i održiva proizvodnja su veoma kompatibilne.*

Ključne reči: *Lean koncept, Poka Yoke, Jidoka, Održiva proizvodnja*

Abstract - *The goal of modern companies is to create production process with low rate of losses and to minimize the unnecessary consumption of resources. Given that the Lean concept tends to reduce waste, the use od natural resources, as little consumption od existing resources as possible, and sustainable production, i.e the so-called Green factories use recycled materials. Work on process redesign, replacement, disassembly, reproduction, etc. Lean production and sustainable production are very compatible.*

Keywords*: Lean concept, Poka Yoke, Jidoka, Sustainable production*

1. UVOD

U ovom radu će biti opisan istorijski razvoj, osnovni principi, alati, metode i način funkcionisanja Lean metodologije, sa fokusom na Jidoka metodu, njen istorijski razvoj i praktičnu primjenu u automobilskoj industriji, problemi koji se mogu javiti i moguća rješenja istih. Zatim, biće objašnjeno kako Jidoka i Poka Yoke utiču na proizvodnju, šta je to što ih čini neizostavnim dijelom savremene proizvodnje.

U petom poglavlju je definisana održiva proizvodnja, njen istorijski razvoj, kao i veza između Lean metodologije i održive proizvodnje. Pored toga, objašnjen je i njihov zajednički uticaj u automobilskoj industriji kroz nekoliko primjera.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milenko Sekulić, red. prof.

2. LEAN METODOLOGIJA

Implementacijom Lean-a skraćuje se vrijeme od narudžbe pa sve do isporuke finalnog proizvoda, i pri tome smanjujući gubitke koji se mogu javiti u toku procesa proizvodnje. Lean proizvodnja predstavlja manje rada i napora, manje investicija, manje vremena, alata i zaliha, kao i manje proizvodnog prostora. Lean metodologija je superiornija u odnosu na ostale metodologije, ne zbog alata i tehnologije koje koristi, nego zbog visokog stepena organizacije koji je uspostavljen u okviru metodologije. Proistekla je iz automobilske industrije, međutim, to ne znači da daje dobre rezultate samo u automobilskoj industriji.

Većina savremenih kompanija teži ka uvođenju Lean koncepta, u tom smislu kombinuju različite alate Lean-a kako bi im omogućili što bržu realizaciju datih aktivnosti, kao i postizanje zadatih ciljeva.

Neki od osnovnih principa Lean proizvodnje su: prepoznavanje gubitaka, standardizacija procesa, napredni tok, sistem vučenja, kvalitet na izvoru, i konstantno unapređenje. Pravilnom implementacijom ovih principa u procese proizvodnje i njihovom svakodnevnom primjenom, preduzeće može smanjiti zalihe, povećati kvalitet proizvoda i efikasnost radnika, skratiti ciklusno vrijeme proizvodnje, smanjiti broj otkaza mašina, kao i povećati iskorišćenost mašina i prostora.

Alati i metode koje se koriste u okviru Lean proizvodnje su: Kaizen, 5S, Poka Yoke, Jidoka, Just in time, Value stream mapping. Neki od najčešćih gubitaka ove metodologije su: prekomjerna proizvodnja, škart, nepotrebni pokreti, nepotrebne zalihe, prekomjerna obrada, čekanje, neiskorišćenost potencijala zaposlenih. Svi prethodno navedeni gubici samo potvrđuju potrebu za dobro definisanim strategijama i planovima, a koji imaju za cilj bolju efikasnost i kvalitet procesa proizvodnje, a time i gotovih proizvoda.

3. JIDOKA

Ova metoda signalizira grešku koja se javila u procesu. Pritiskom na dugme, radnik zaustavlja proizvodnu liniju ili samo dio linije na koji greška utiče. Tada se pali crvena signalna lampica koja daje signal radnicima da je mašina stala i da postoji problem. Radnik zatim treba da otkloni grešku. Nakon uspješnog otklanjanja greške, radnik mašinu ponovo pokreće, i u slučaju da se proizvodnja odvija

bez ikakvih grešaka i problema, tada svijetli zelena signalna lampica, takođe, može se upaliti i žuta signalna lampica, koja daje signal da je radniku potrebna pomoć, odnosno radnik treba da detektuje i otkloni grešku, ukoliko je to u njegovoj mogućnosti. Jidoka je jedan od dva stuba Tojotinog proizvodnog sistema, zajedno sa alatom „Just in time“. Samim tim što se mašina odmah zaustavlja čim se pojavi greška u procesu, znači da se problemi svode na minimum i da upotrebom ove metode dolazi do poboljšanja samog procesa.

Jidoka se često naziva i „autonomation“, što ustvari predstavlja – automatizacija sa ljudskom inteligencijom. Zbog čega je tako? Naziv je takav iz razloga što je omogućeno automatsko razdvajanje dobrih od loših komada, bez upravljanja mašinom od strane radnika. U tom slučaju, radnik ne mora konstantno da prati rad mašine, što dovodi do povećanja produktivnosti, jer radnik može da prati rad više mašina odjednom. Jidoka u Lean metodologiji je tehnički termin koji je kreirala Tojota, a koji se izgovara tačno onako kako glasi japanska riječ za automatizaciju. Vjerovatno jedan od glavnih razloga zaustavljanja procesa proizvodnje jeste dobijanje komada lošeg i nezadovoljavajućeg kvaliteta.

U nastavku će biti navedeno nekoliko stvari koje mogu izazvati loš kvalitet komada: iako se dio može sačuvati ili popraviti, to će prouzrokovati mnogo više rada i mnogo više napora da se dio popravi i vrati u funkcionalno stanje; produženje vremena između pojave defekta i pronalaska rješenja može dovesti do pojave i drugih defekata s obzirom da problem nije na vrijeme riješen; pojava tzv. „jednokratnih“ defekata, gdje produženjem vremena između pojave defekta i pronalska rješenja može doći do toga da problem više nije aktivan kada ga se želi otkloniti. U nastavku će biti prikazani i definisani primjeri primjene Jidoke u automobilskoj industriji.

Prvi slučaj jeste kada mašina radi bez ikakvih problema, odnosno bez zastoja. Ovo je, naravno, najpoželjniji i jedino prihvatljiv slučaj tokom procesa proizvodnje. Na slici 3.1 a) se nalazi primjer iz prakse kada mašina radi bez zastoja.

Drugi slučaj prikazuje mašinu koja signalizuje da je prilikom procesa proizvodnje došlo do određenih problema. U tom slučaju radnik treba da ispita i otkloni uzrok nastalog problema što je prije moguće. Žuta lampica ne mora samo obavještavati o nastalom problemu koji je vezan za mašinu. Ona može, recimo, signalizovati i to da je pokretna traka na kojoj se nalaze komponente, poluproizvodi ili gotovi proizvodi puna i da ne postoji mogućnost za postavljanje novih komada. Takođe, može obavještavati o tome da nema više materijala u mašini i da proizvodnja stoji zbog toga. Na slici 3.2 b) je prikazan primjer iz prakse kada je mašina signalizovala problem tokom proizvodnje.

Treći slučaj je najnepoželjniji slučaj koji se može javiti tokom proizvodnje. Predstavlja mašinu koja je zaustavljena. To znači da je proces proizvodnje zaustavljen. Problem može biti kolizija robota, što je jedan od najvećih problema koji se mogu javiti, takođe može doći do toga da je alat pogrešno pozicionirao dio, da je došlo do programske greške, i sl. Na slici 3.3. c) je prikazan primjer iz prakse kada je mašina zaustavljena zbog jednog od prethodno navedenih problema.

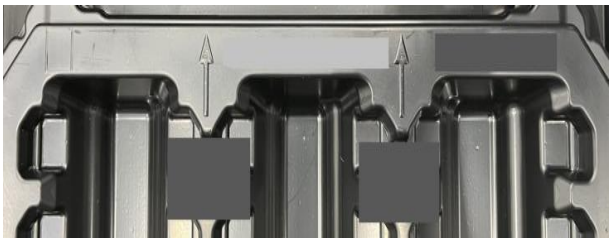
Slika 3. *Signalne lampice koje obavještavaju da:*
a) mašina radi bez zastoja,
b) mašina ima problem,
c) mašina je zaustavljena

4. POKA YOKE ALAT

Jedan od osnovnih elemenata Jidoke jeste Poka Yoke. Ovaj alat je formiran da bi se minimizirale greške koje su rezultat ljudske nepažnje, odnosno negativa uticaj na finalni proizvod, zastoje u proizvodnji, a time i troškovi. Pojedine greške, kao što su pogrešno orjentisane komponente, zamjena alata ili pogrešno shvatanje zadataka, mogu jedino prouzrkovoati radnici u proizvodnji.

Iz tog razloga postoji Poka Yoke u proizvodnji. Poka Yoke predstavlja preventivni alat koji se može odnositi na dizajn proizvoda, dizajn procesa i provjeru prije date operacije. Dizajn proizvoda se odnosi na sve promjene koje su vezane za proizvod. Dizajn procesa se odnosi na održavanje i nove varijante proizvoda, dok se provjera prije datih operacija odnosi na provjeru osnovnih funkcija. U nastavku će biti prikazani različiti primjeri Poka Yoke alata u zavisnosti od potreba proizvodnje za istim. U prvom slučaju je prikazana paleta za unos komponenti.

Kako bi se spriječilo pogrešno postavljanje palete u mašinu, na paleti se nalaze dvije strelice koje pokazuju pravilan smjer postavljanja iste, slika 4.1.



Slika 4.1 *Smjer postavljanja i kretanja palete*

Drugi slučaj je sličan prvom. Na slici 4.2. takođe je prikazana paleta za unos materijala. Pinovi su postavljeni tako da se materijal postavi pravilno. Međutim, u ovom slučaju je došlo do propusta u dizajnu i funkcionalnosti, jer su se mogli dodati pinovi koji bi tačnije definisali pozicije kompenenti. Dodatni pinovi bi fiksirali

komponentu sa svih strana i ne bi postojala mogućnost greške.

Slika 4.2 *Pozicija pinova na paleti*

Jedan od osnovih elemenata Poka Yoke alata jesu kamere. Koriste se kako bi dale tačne informacije o pozicijama komponenata u odnosu na alata, nosač komponente ili u odnosu na druge komponente na sklopu. Ove kamere omogućavaju detekciju određenih nepravilnosti ili defekata na dijelovima, slika 4.3. Olakšava pri razdvajanju škartnih komada od dobrih.

Slika 4.3 *Kamera*

Slika 4.4 *Skener*

Pored kamera, skeneri su takođe vrlo bitni elementi Poka Yoke alata. Mogu se naći kako na ulazu u mašinu, tako i u daljem procesu, slika 4.4. Skeniraju ulazni materijal i detektuje njegovo prisustvo. Pored toga, mogu upozoriti radnika da je neki od dijelova pogrešno pozicioniran.

5. ODRŽIVA PROIZVODNJA

Svrha održive proizvodnje ili zelene proizvodnje jeste smanjiti negativan uticaj na životnu sredinu, minimizirati otpad, ispuniti zahtjeve kupaca u pogledu ekoloških performansi i smanjiti troškove energije i materijala za ekološke proizvode. Povećanjem zahtjeva kupaca, investitora i zajednice, industrije se suočavaju sa povećanjem materijala i energije širom svijeta. Ovo samo pokazuje kako održiva proizvodnja funkcioniše kao poslovni imperativ. Ideja Lean koncepta i održive proizvodnje jeste integracija s procesom konstantnog poboljšanja proizvodnog toka vrijednosti. Kako bi prevazišli nagle promjene statova kupaca i varijacije troškova, mnogi proizvođači su se okrenuli Lean proizvodnji. Tradicionalno Lean razmišljanje uzima u obzir samo smanjenje otpada (prekomjerna proizvodnja, čekanje, transport, neodgovarajuća obrada, nepotreban inventar, nepotrebno kretanje).

Zbog svega navedenog, teži se ka implementaciji ekološkog alata za smanjenje zagađenja životne sredine. U posljednjoj deceniji, mnogi istraživači su se bavili ovom temom, tako da ona za javnost više nije nepoznanica. Lean koncept i održiva proizvodnja identifikuju i mjerne aspekte i uticaje na okolinu, kao i ulaze i izlaze mase i energije, uz poštovanje stvarnog toka vrijednosti zasnovanog na proizvodnim tokovima vrijednosti. Sve mogućnosti poboljšanja koje Lean koncept i održiva proizvodnja identifikuje koristeći Kaizen pristup direktno su integrisane u kontinuirano poboljšanje već postojeće strukture. Kada se govori o uticaju automobila na okruženje, pod tim se misli na uticaj goriva i ugljen-dioksida na vazduh i atmosferu, što za posljedice ima uticaj i na ostale dijelove prirode kao što su voda i biljni svijet.

Prevelika proizvodnja ugljen-dioksida stvara efekat staklene bašte i uzrokuje brže zagrijavanje Zemlje, a samim tim i klimatske promjene. Goriva za opremu mogu trošiti mnogo energije i stvaraju povremene ekološke katastrofe poput izlivanja nafte. Nekonvencionalni izvori goriva postaju ekonomski održiviji. Prelaskom na električne automobile se može eliminisati problem emisije ugljen-dioksida u atomosferu i usporiti proces globalnog zagrijavanja. Na tom polju, kompanija Tesla se ističe u odnosu na ostale kompanije, jer proizvode isključivo električne automobile, zbog čega imaju najveću tržišnu vrijednost u automobilskoj industriji. Unutrašnjost automobila se takođe ne smije zanemariti, s obzirom da ljudi sve više vremena provode u istim, tako da se mora transformisati u sve atraktivniji životni prostor.

S obzirom da se plastika često koristi, prednost novih plastika jeste što su ojačane prirodnim vlaknima, čime je smanjena mogućnost za cijepanjem materijala, takođe, u slučaju pucanja nema oštrih rubova koji predstavljaju opasnost za čovjeka. Od prirodnih vlakana koja se koriste, ističu se tropska vlakna sljeza i drvena vlakna. Ova biljna vlakna koja se koriste su odlična zamjena za staklena vlakna, a takođe su vrlo bitna i kada je u pitanju kvalitet površina.

Prema nekim istraživanjima, upotreba prirodnih vlakana može rezultirati uštedom od 10-30% u odnosu na vještačka vlakna. Ove plastike imaju malu težinu i veliku nosivost, koje su idealne za lake konstrukcije i sigurnosne zahtjeve. Automobilska industrija je odličan primjer malih koraka koji donose promjene i doprinose svijetu koji je ekološki prihvatljiv. Dobavljači rade s proizvođačima na pronalaženju rješenja za održiviju unutrašnjost vozila.

6. ZAKLJUČAK

Savremene kompanije sve više teže za uvođenjem Lean koncepta u procese proizvodnje. Implementacijom Lean-a se skraćuje vrijeme od narudžbe pa sve do isporuke finalnog proizvoda, i pri tome smanjujući gubitke koji se mogu javiti u toku procesa proizvodnje, u tom smislu kombinuju različite alate Lean-a kako bi im omogućili što bržu realizaciju datih aktivnosti, kao i postizanje zadatih ciljeva. Kada kompanije pravilno implementiraju dati koncept, dolazi do poboljšanja koja utiču na smanjenje cuklusnog vremena proizvodnje, smanjenje broja otkaza mašina, kao i povećanja iskorišćenosti mašina i prostora. Kako je već spomenuto, ovaj koncept se koristi kako bi se smanjili gubici tokom proizvodnje i svi neželjeni efekti koji se mogu pojaviti.

Samim tim što ovo sve dosta utiče na kvalitet konačnog proizvoda, implementacijom Lean metodologije se pokušava obezbijediti što bolji kvalitet. Uz Lean koncept je nezaobilazna održiva proizvodnja. S obzirom da Lean koncept teži ka smanjenu otpada, upotreba prirodnih resursa, što manja potrošnja postojećih resursa, a održiva proizvodnja, odnosno tzv. Zelene fabrike koriste reciklirane materijale, radi se na redizajnu procesa, zamjeni, rastavljanju, ponovnoj proizvodnji, itd.

Lean proizvodnja i održiva proizvodnja su veoma kompatibilne. Automobilska industrija je odličan primjer malih koraka koji donose promjene i doprinose svijetu koji je ekološki prihvatljiv. Za automobilsku industriju ključne teme su elektromotori, područje optimizacije, lagane konstrukcije, i smanjenje emisije CO_2. Ipak, ni unutrašnjost automobila nije zanemarena, jer je unutrašnjost dio automobila koji vozač najčešće viđa i stoga mora biti praktičan, estetski prihvatljiv i da je težina što manja.

7. LITERATURA

[1] Bertina, A., (2009). *Implementacija Lean menagementa u poduzeću,* Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvatska.

[2] Boiser, L., (2020). *How to Apply the Jidoka Principle to Boost Your Productivity,* Kanban Zone, Scottsdale, SAD. Dostupno na linku: Boost Productivity with Jidoka Principle - Kanban Zone (Preuzeto 02.08.2023.)

[3] Lesničar, D., (2020). *Lean metodologija i primjena industrije 4.0,* Sveučilište Sjever, Varaždin, Hrvatska.

[4] Čabarkapa, J., Sekulović, A., (2019). Lean razmišljanja u proizvodnoj organizaciji – Pregled lean alata za unapređenje procesa. In: *Međunarodni kongres o procesnoj industriji,* Fakultet organizacionih nauka, Beograd, Srbija, 30-31. maj.

[5] Mandić, J., (2019). *Razvoj modela za unapređenje proizvodnog procesa i smanjenje uticaja gubitaka neuravnoteženosti i preopterećenja – Lean 3M,* Doktorska disertacija, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija.

[6] Milosavljević, P., (2016). *Lean,* Univerzitet u Nišu, Niš, Srbija

[7] Pampanelli, A., Trivedi, N., Found, P., (2016). *The Green Factory – Creating Lean and sustainable manufacturing,* Taylor and Francis Group.

[8] Rakarić, I., (2020). *Analiza održivosti automobilske industrije,* Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, Zagreb, Hrvatska.

[9] Hale, M., (2022). *Plastics Fast-Track Electric Vehicle Innovation,* Community for Plastics Professionals, Santa Monica, California.

[10] Jurić, S., (2019). *Uvođenje Lean menadžmenta u proizvodne procese,* Istarsko veleučilište – Di scienze applicate, Pula, Hrvatska.

Kratka biografija:

Valentina Đuraš rođena je u Prnjavoru, 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstvo – Proizvodno mašinstvo odbranila je 2023. godine.

kontakt: valentina.djuras@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 621.7/.9
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM03Tot

OPTIMIZACIJA PROIZVODNIH PROCESA PRIMENOM SIMULACIJA U KOMPANIJI BIOELEMENTS D.O.O

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES USING SIMULATIONS IN THE COMPANY BIOELEMENTS D.O.O

Tamaš Tot, Sanja Bojić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – *Tema ovog rada jeste izrada simulacionog modela, analiza i optimizacija tokova materijala proizvodnog sistema u kompaniji Bioelements d.o.o., pri čemu je fokus usmeren na procese sečenja metala na laseru, pripreme i odlaganja materijala i zavarivanja sklopova određenih mašina u cilju smanjenja zaliha. Ovi procesi se izvode na četiri vrste mašina prema broju porudžbina od strane kupca. Simulacija je rađena u softveru Tecnomatix Plant Simulation koji nudi razne mogućnosti za optimizaciju proizvodnih i logističkih sistema u 2 i 3 dimenzije.*

Ključne reči: *Optimizacija, Simulacioni model, Genetski algoritam*

Abstract – *The topic of this work is creation of a simulation model, analysis and optimization of the material flows of the production system in the company Bioelements l.l.c., where the focus is on the processes of laser cutting, preparation and disposal of materials and welding of assemblies of certain machines in order to reduce inventory. These processes are performed on 4 types of machines according to the number of orders from the customer. The simulation was done in the Tecnomatix Plant Simulation software.*

Keywords: *Optimization, Simulation model, Genetic algorithm*

1. UVOD

Optimizacija proizvodnih i logističkih sistema predstavlja veoma važnu stavku svake kompanije da bi ostala konkurentna na tržištu. Zadovoljstvo kupca je postalo najvažnije a to znači da proizvod mora biti odgovarajućeg kvaliteta i da isti bude dostavljen u pravo vreme na pravom mestu i po odgovarajućoj ceni.

Navedeni zahtevi mogu biti ispunjeni ukoliko je tok materijala neprekidan. Usled brzog razvoja tehnike i tehnologije u današnjem vremenu su na raspolaganju alati pomoću kojih se brže, lakše i efikasnije može postići optimizacija proizvodnog sistema. Jedan takav alat predstavljaju simulacije. Simulacije omogućavaju kreiranje virtuelnih replika realnih sistema i simuliranje događaja u okviru istog.

NAPOMENA:

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

2. LOGISTIKA

Logistika je veoma stara oblast poslovanja koja se usavršavala paralelno sa razvojem civilizacije. Prema „*Leksikonu stranih reči i izraza*“ Milana Vujaklije, reč logistika potiče od grčke reči „*Logistike*“ i znači: veština računanja pomoću slova, sposobnost zaključivanja, algebra. Često se u literaturi može videti definicija „7P“ koja znači: Osigurati dostupnost pravog proizvoda, u pravim količinama u pravom stanju, na pravom mestu, u pravo vreme, za pravog kupca i po pravoj ceni“ [1]. Neprekidna proizvodnja je veoma važan faktor proizvodnog sistema a na cene gotovih proizvoda u velikom procentu utiče logistika, transport, skladištenje, osiguranje sirovine, sklopova i proizvoda. U okviru proizvodne kompanije mogu se izdvojiti tri nivoa planiranja logistike proizvodnje koji su [2]:

- Strateški nivo,
- Dispozitivni nivo,
- Operativni nivo.

Skladište je fiksna tačka ili čvor u lancu snabdevanja gde kompanija čuva sirovine, poluproizvode ili gotove proizvode u različitim vremenskim periodima. Formira se sa ciljem da izjednači neravnomernost koja se javlja između potrošača i mogućnosti nabavke [3]. Organizacija mora da osigura da nabavljeni materijal ili proizvod bude usaglašen sa tačno specifiranim zahtevima nabavke. Izbor prave opreme za proizvodnju i njena kupovina mogu ostvariti veliki tržišni prednost za budućnost. Nabavka predstavlja vezu između organizacije i proizvodnje u lancu snabdevanja i ima zadatak da obezbedi neprekidan tok materijala između kupaca i dobavljača [1].

3. SIMULACIJE

Danas se simulaciona tehnika intenzivno koristi pri rešavanju upravljačkih zadataka u svakodnevnom radu. Tradicionalne metode optimizacije zamenjene su kompjuterskim programima koji su sposobni da predvide ponašanje neke konstrukcije pri različitim uslovima opterećenja. Inženjerska analiza primenom računara i raznih softverskih paketa omogućuje formiranje virtuelnog prototipa, modela i omogoćuju stvaranje realnih utisaka o izgledu i ponašanju proizvoda putem simulacija. Primena simulacione tehnike zahteva visok nivo znanja što otežava njenu širu primenu [4]. Prednosti simulacije su:

- moguće je utvrditi zašto i pod kojim uslovom je došlo do određenih oscilacija sistema ili kvara,
- smanjenje rizika i ušteda na troškova,
- poboljšavanje razumevanje rizika

- jednom izgrađen model može se višestruko koristiti za analizu.

3.1. Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix Plant Simulation predstavlja softverski paket koji koristi alate za planiranje proizvodnih i logističkih sistema. Softver se široko koristi u automobilskoj industriji, elektronskoj industriji i kompanijama za logističke usluge. Softverski program omogućava proizvođačima da preko platforme razvijaju, simuliraju, poručuju robotske i druge automatizovane proizvodne sisteme. Alat za simulacija može da se koristi za analizu globalnih postrojenja, celog postrojenja ili samo nekoliko mašina u proizvodnoj liniji.

4. PRIMENA SIMULACIJA I OPTIMIZACIJA PROIZVODNIH PROCESA U FIRMI BIOELEMENTS D.O.O

Firma Bioelements d.o.o. osnovana je u septembru 2014. godine i bavi se proizvodnjom poljoprivredne mehanizacije i priključnih mašina, kao i konsaltingom i projektovanjem u oblasti poljoprivredne mehanizacije. Mašine koje se proizvode u firmi su setvospremači različitih dužina (*Quivogne Gladiator 6m, 5m, 4m, 3m, Kompaktor K8),* kombajn za berbu višnja, kolica za odlaganje hedera različitih dužina (*AKH-L, AKH-XL i AKH-XXL*), potirači tragova kukuruza, priključni adapter za telehendler, prikolice za voćnjake različitih dužina itd. Simulacija se sastoji od procesa sečenje na laseru i procesa zavarivanja za određene mašine firme i predstavlja sledeći broj mašina koji su poručeni od strane kupca:

- 30 Gladiatora G3,
- 30 Gladiatora G6,
- 30 kolica za odlaganje hedera tipa AKH-L i
- 70 kolica za odlaganje hedera tipa AKH-XL.

Optimizacija procesa sečenja na laseru predstavlja veći akcenat ovog rada, zbog izbegavanja nagomilavanja previše zaliha u proizvodnji.

4.1. Faze razvoja simulacionog modela u softveru Tecnomatix

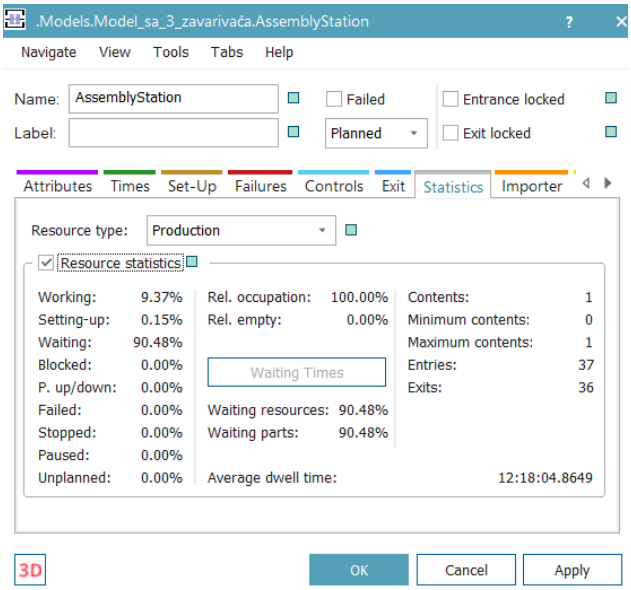
Prvi koraci formiranja simulacionog modela su odabir atoma iz lista alata (eng. *Toolbox*) ili biblioteke (eng. *Class Library*) i njihovo postavljanje na željenu lokaciju. Sledeći korak je kreiranje svih poluproizvoda (table različitih debljina, pozicije koje se dobijaju nakon sečenja itd.) kao i finalnog proizvoda (podsklopvi i sklopovi koje se zavarivaju). Laser predstavlja atom *Dismantle Station*, koji seče ulazne table na odgovarajuću količinu pozicije prema tabela *Processing_Times.*

Proces sečenja izvodi se u zavisnosti od metoda ulaza (*OnEntraceM*) i metoda izlaza (*OnExitM*). Pomoću ovih metoda definiše se veza između lasera i radnog naloga. Na izlazu lasera nalazi se jedno međuskladište (eng. *Buffer*) koji predstavlja radni sto lasera, odakle se preuzimaju već isečene pozicije. Isečeni komadi prelaze u prostor za skladištenje (eng. *Store*) gde se raspoređuju prema debljini i oznaci. Svaka pozicija je označena tako, da se zna za koju mašinu pripada. (Na primer: *G3_10* znači da je pozicija isečena od 10 mm debljine i pripada mašini *Gladiatora G3*).

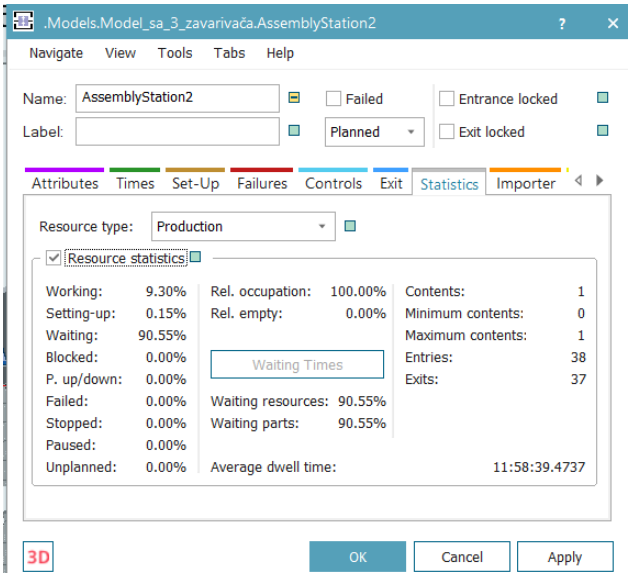
Proces zavarivanja vrši tri radnika u jednoj smeni. Zavarivači imaju zadatak da preuzimaju određeni broj pozicija koji su isečeni na laseru i zavaruju ih po određenom broju sklopova za mašine u skladu sa tabelama *RadniNaloziZavarivanje* i *Tabela_Zavarivanje.*

Nakon što je zadat nalog za zavarivanje, kao i vreme pripreme i vreme zavarivanja, potrebno je zadati radnicima broj komada pozicija (različitih debljina) koji su isečeni na laseru, jer se od njih sastoj svi sklopovi mašine.

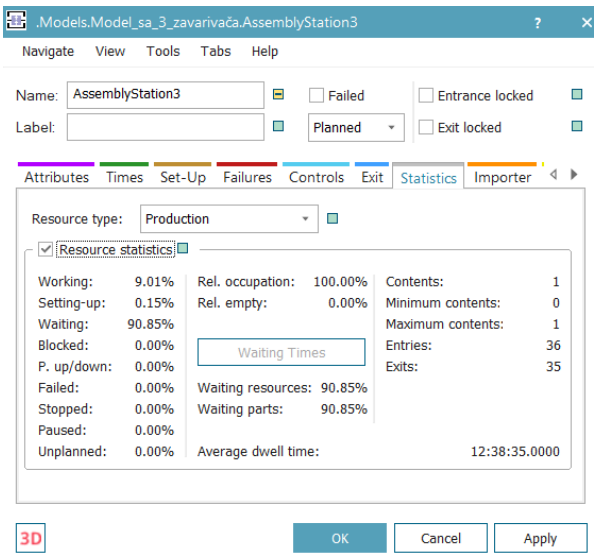
Ovaj korak se vrši u atomima za zavarivanje, odnosno u *Assembly Station 1, 2 i 3*. Sledeći korak je postavljanje *Init* Metoda. Njegova uloga je da realno prikaže inicijalno stanje zaliha određenih poluproizvoda u kompaniji kako bi proces simulacija otpočeo u realnim uslovima. U ovoj fazi rada je izvršena simulacija, koja je radila 60 radnih dana bez određenog redosleda sečenja i zavarivanja. Dobijeni rezultati su prikazani na sledećim slikama. Vidi se da se sečenje na laseru vrši kontinualno i ne postoji vreme čekanja, ali kod svakog zavarivača postoji preveliko vreme čekanja i zbog toga oni nisu efikasni. Ukupno je zavareno 111 sklopova što je mala količina u odnosu na rad na laseru.



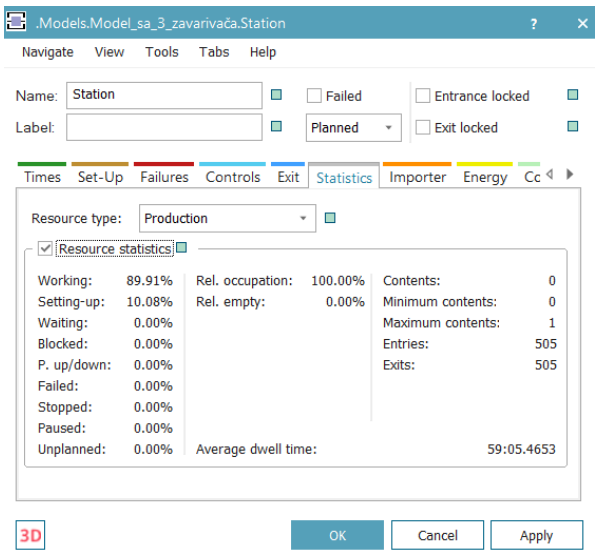
Slika 1. Rezultati zavarivača 1 bez dodavanja redosleda zavarivanja



Slika 2. Rezultati zavarivača 2 bez dodavanja redosleda zavarivanja



Slika 3. Rezultati zavarivača 3 bez dodavanja redosleda zavarivanja



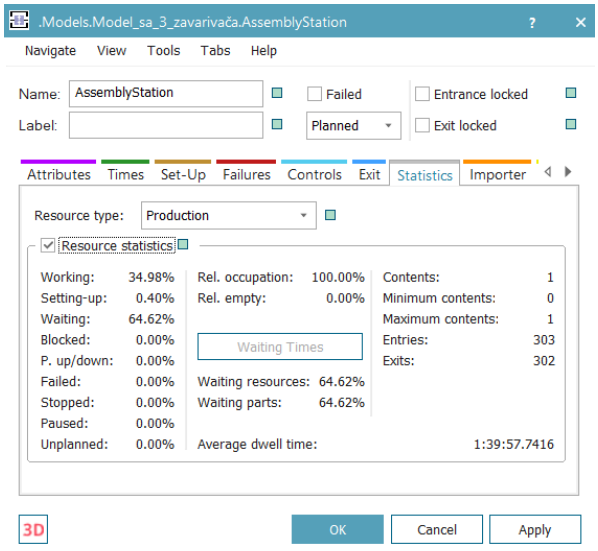
Slika 4. Detaljni rezultati sečenje na laseru (Dismantle Station) nakon optimizacije

4.2. Genetski algoritam – GAWizard

GAWizard se koristi za optimizaciju u kojima je evaluacija zasnovana na simulaciji. Genetski algoritmi su stohastičke procedure optimizacije koje u većini slučajeva daju samo približno rešenje, a za najčešće praktične primene ova približna rešenja su dovoljna.

Oni su klasa tehnika pretraživanja koje se mogu koristiti za traženje optimuma ili elementa sa određenim svojstvom i njihove tehnike su pozajmljene iz evolucione biologije.

Za genetski algoritam jedno rešenje znači jedna jedinka. Selekcijom se biraju jedinke sa fitnesom tj. osobinama koje se prenose u sledeću populaciju, a manipulacijom genetskog materijala stvaraju se nove jedinke odnosno nove generacije. Pod fitnesom podrazumeva se uspešnost selekcije. Takav ciklus selekcije, reprodukcije i manipulacije se ponavlja sve dok se ne dobije konačna populacija jedinki odnosno skup potencijalnih rešenja. Najbolja jedinka u zadnjoj iteraciji predstavlja rešenje optimizacije koja se prikazuje pomoću fitnes funkcija [5].

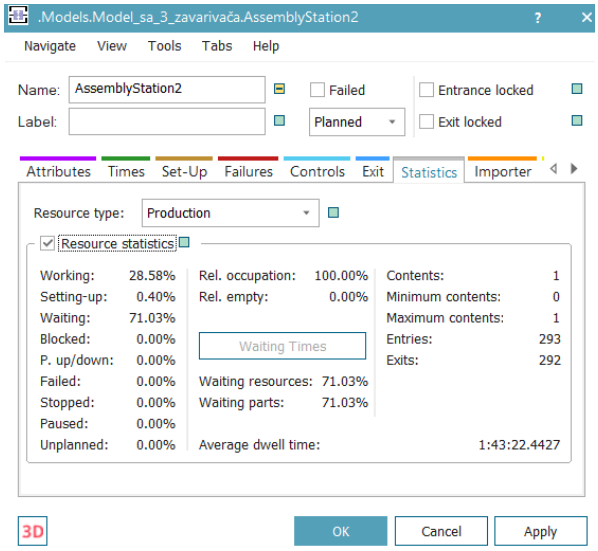


Slika 5. Detaljni rezultati prvog zavarivača (Assembly Station 1) nakon optimizacije

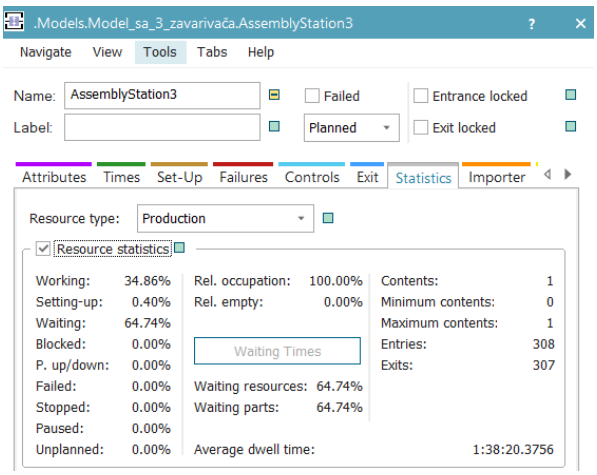
5. OBRADA REZULTATA OPTIMIZACIJE POMOĆU GENETSKOG ALGORITMA

Rezultat optimizacije se nalazi u kartici *Evaluate* i klikom na opciju *Report* otvaraju se svi rezultati optimizacije prikazane pomoću tabela i grafikona. Genetski algoritam kreira najbolji redosled sečenja na laseru u zavisnosti od radnog naloga zavarivača da bi postigli neprekidan tok materijala. Prvi deo izveštaja prikazuje broj komada jedinka sa najboljim fitnesom, odnosno broj komada najboljih rezultata za svaki zavarivač.

To znači da ukupan broj sklopova koji se zavaruje za vreme simulacije je 901, koji je skoro 9 puta više nego bez dodavanje redosleda sečenja na laseru i zavarivanja. Ukupan broj sklopova se raspoređuje na sledeći način: zavarivač 1: 302, zavarivač 2: 292 i zavarivač 3: 307. Na osnovu tih rezultata se zaključuje da zavarivač 1 napravi 5 sklopova po danu, zavarivač 2 napravi 4,8 sklopova po danu i da zavarivač 3 napravi 5 sklopova po dan. Ostali rezultati (vreme rada, pripreme i čekanja) su prikazani na sledećim slikama.

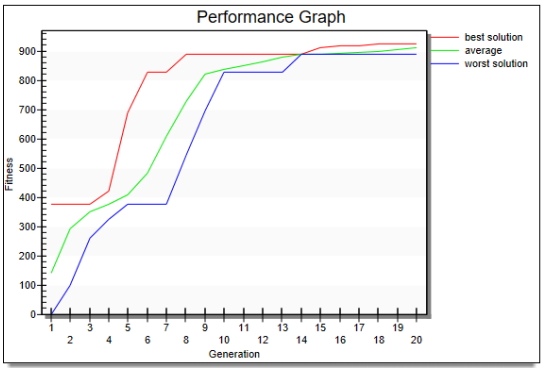


Slika 6. Detaljni rezultati drugog zavarivača (Assembly Station 2) nakon optimizacije



Slika 7. Detaljni rezultati trećeg zavarivača (Assembly Station 3) nakon optimizacije

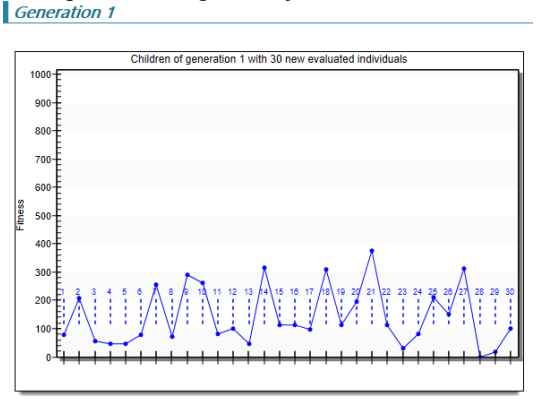
U genetskom algoritmu populacija rešenja, odnosno generacija optimizacije evoluira ka boljim rešenjima. Svako rešenja ima skup osobina (fitnesa) koji može da bude izmenjen. Na grafikonu prikazanom na slici 8., vidi se razvoj fitnesa (uspešnosti) po broju jedinke u zavisnosti od broja generacija. Grafikon predstavlja najbolje, prosečno i najgore rešenje optimizacije.



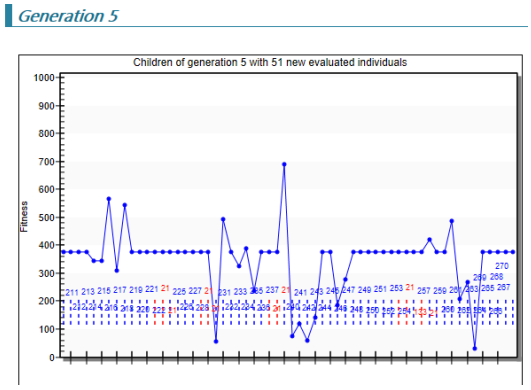
Slika 8. Grafički prikaz razvoj fitnesa (uspešnosti) jedinka u zavisnosti od broja generacija

Svaka generacija se sastoji od više mogućnosti rešenja, odnosno jedinka, na kojima se vrši kombinacija, selekcija i mutacija. Jedinke sa lošijem fitnesom se otklanjaju tokom optimizacije i tako se povećava uspešnosti optimizacije.

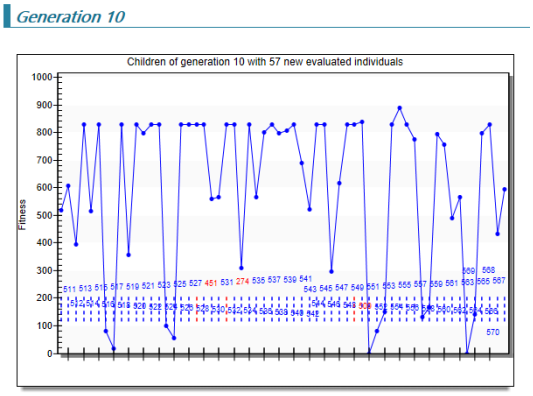
Na sledećim slikama su grafički prikazane uspešnosti svake generacije optimizacije. Vidi se kako se povećava uspešnost posle svake generacije.



Slika 9. Skup svih rešenja u prvoj generaciji optimizacije



Slika 10. Skup svih rešenja u petoj generaciji optimizacije



Slika 11. Skup svih rešenja u desetoj generaciji optimizacije

6. ZAKLJUČAK

Korišćenjem genetskog algoritma dobija se najbolji raspored sečenja na laseru, čime se dobija neprekidni tok materijala i povećava se efikasnost. Na osnovu rezultata je prikazano da je potrebno 60 radnih dana da se završi sečenje na laseru za sve potrebne mašine i da pomoću genetskog algoritma zavarivači naprave skoro 9 puta više mašina za isto vreme u odnosu na to kad nisu dodeljeni redosledi tih procesa.

Važno je naglasiti da optimizacija ovih procesa važi samo za određene uslove koji su definisani u radu i da na finalne proizvode utiču ostali procesi proizvodnje, kao što su savijanje, sečenje na testeri, čišćenje, farbanje i sklapanje.

7. LITERATURA

[1] Dr Sanja Bojić (2021) Tehnička logistika i simulacija [PowePoint prezentacija], Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

[2] Nenad Tomić: Modelovanje proizvodnog sistema primjenom simulacija, Diplomski rad, FTN, Univerzitet u Novom Sadu, 2020.

[3] Dušan Regodić, Logistika, Univerzitet Singidunum u Beogradu, 2014

[4] Luka Kucurski: Planiranje i organizacija proizvodnog sistema primenom simulacija, Diplomski rad, FTN, Univerzitet u Novom Sadu, 2020.

Kratka biografija:

Tamaš Tot rođen je u Senti 1998. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo odbranio je 2023. godine.
Kontakt: tamastot.98@gmail.com

dr Sanja Bojić, vanredni profesor.
Kontakt: s_bojic@uns.ac.rs

Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

UDK: 621.7/.9
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM04Pupovac

РАЗВОЈ ВИРТУЕЛНОГ ПРОТОТИПА МАШИНЕ АЛАТКЕ БАЗИРАНЕ НА O-X GLIDE МЕХАНИЗМУ

DEVELOPMENT OF A MACHINE TOOL VIRTUAL PROTOTYPE BASED ON O-X GLIDE MECHANISM

Ђорђе Пуповац, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – *У раду је показан развој виртуелне машине алатке базиране на O-X glide механизму. Виртуелни прототип је конфигурисан у CAD/CAM окружењу и посматра се могућност симулације обраде. Извршена је верификација применом тест радног предмета.*

Кључне речи: *O-X glide, виртуелна машина алатка, Siemens NX*

Abstract – *The paper shows the development of a virtual machine tool based on the O-X glide mechanism. The virutal prototype was configured in the CAD/CAM environment and the possibility simulation can be observed. Verifikation was performed using a test workpiece.*

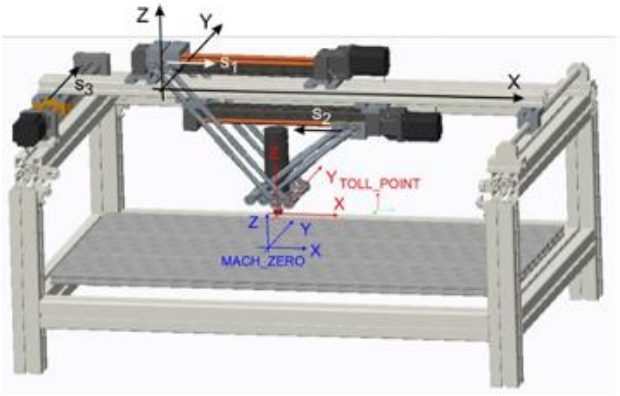
Keywords: *O-X glide, virtual machine tool, Siemens NX*

1. УВОД

Индустријска револуција, која је трајала од касног 18. века до почетка 19. века, била је период брзих технолошких и друштвених промена које су трансформисале производњу добара и услуга. Машине алатке су имале пресудну улогу у овој трансформацији јер су омогућиле масовну производњу стандардизованих и заменљивих делова као што су завртњеви, ексери, зупчаници и цилиндри.
Циљ рада јесте формирање виртуелне машине алатке базиране на O-X *glide* механизму и реализација симулације у CAD/CAM окружењу.

2. КИНЕМАТСКА СТРУКТУРА МАШИНА АЛАТКИ

Кинематска структура машина алатки представља основу њихових експлоатационих карактеристика. Увођењем нових концепција механичке структуре у градњу машина алатки подразумевају примену механизама са модификованом кинематском структуром. То значи да се уместо уобичајених механизама са **серијском** кинематском структуром у употребу уводе механизми са **паралелном** и **хибридном** кинематском структуром. Пример хибридног механизма је машина O-X *glide*, слика 1.



Слика 1. *O-X glide* [1]

3. МАШИНА АЛАТКА НА БАЗИ МЕХАНИЗМА СА ХИБРИДНОМ КИНЕМАТИКОМ (O-X GLIDE)

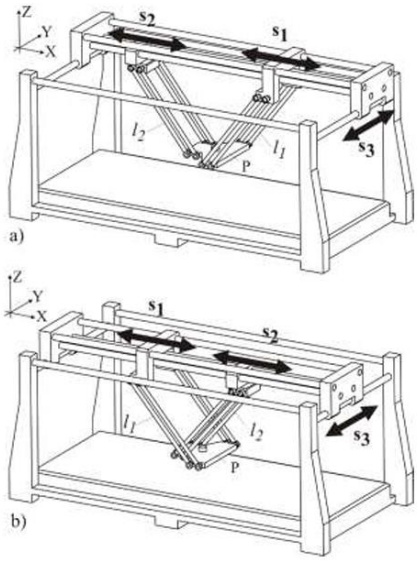
O-X *glide* (слика 2) је троосна машина са хибридним механизмом. Развијена је на Факултету техничких наука у Новом Саду, поседује серијско-паралелну кинематску структуру (равански паралелни механизам померљив на уздужном клизачу), намењена за едукацију.

Едукационе машине које се последњих година налазе на тржишту углавном користе машине са серијском кинематиком.

3.1. Опис концепције машине са хибридном кинематиком

Машине са паралелном кинематиком се често комбинују са серијским механизмом. Комбиновање ова два механизма пре свега се користи како би се искористиле предности оба приступа кинематике. O-X механизам је настао комбиновањем раванског паралелног механизма и серијске транслаторне осе, која се налази на носећој структури машине.
Равански паралелни механизам је конципиран тако да извршни орган машине највећи део радног простора може досегнути у две конфигурације механизма, чиме се понаша дуално као два паралелна механизма са различитим карактеристикама.

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Слободан Табаковић, ред. проф.

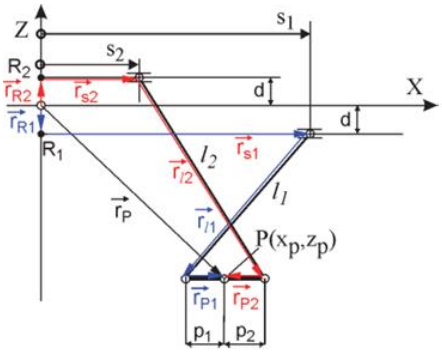


Слика 2. *Иницијална концепција машине на бази О-Х механизма а) опружена О конфигурација, б) укрштена Х конфигурација* [2]

Дуалност механизма пружа додатне могућности приликом обраде радних предмета, али истовремено намеће потребу за комплекснијим управљачким алгоритмима, који треба да буду развијени за обе конфигурације машине.
Самим тим се проширују едукационе могућности машине.

3.2. Конфигурисање виртуелног прототипа машине са хибридном кинематиком

Виртуелни прототип ове машине са хибридном кинематиком је конфигурисан по модуларном принципу, тако да омогућава лако реконфигурисање у обе конфигурације паралелног механизма опружену О или укрштену Х.
Пошто машина поседује инверзну и директну кинематику, за потребе управљања машином, потребно је савладати обе кинематике. Такође је неопходно извршити анализу радног простора, ради коректног позиционирања радних предмета у зони обраде, слика 3.



Слика 3. *Кинематски модел О-Х glide механизма*

Решења инверзног кинематичког проблема (ИКП) за О-Х *glide* механизам су:

- опружена конфигурација О-Х *glide* механизма:

$$s_1 = x_p - p_1 + \sqrt{l_1^2 - (z_p + d)^2}$$

$$s_2 = x_p + p_2 - \sqrt{l_2^2 - (z_p - d)^2}$$

- укрштена конфигурација О-Х *glide* механизма:

$$s_1 = x_p - p_1 - \sqrt{l_1^2 - (z_p + d)^2}$$

$$s_2 = x_p + p_2 + \sqrt{l_2^2 - (z_p - d)^2}$$

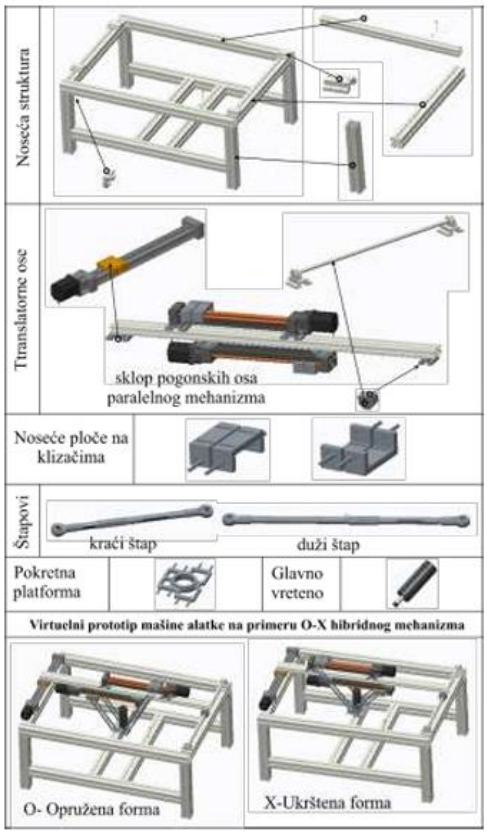
Решење директног кинематичког проблема (ДКП) за О-Х *glide* механизам се може записати као:

$$z_p = \frac{-m_6 - \sqrt{m_6^2 - 4m_5m_7}}{2m_5}$$

$$x_p = m_3 + m_4 \cdot z_p$$

На слици 4 су показане реализације модуларног система за носећу структуру, транслаторне осе, склоп погонских оса паралелног механизма, носеће плоче на клизачима за везу са обртним зглобовима, штапова, платформе и главног вретена. Проласком кроз морфолошку матрицу са слике 3.3 и избором одговарајућих модула за основне функције машине, добијају се две могуће разматране варијанте машине и то опружене О и укрштене Х.

Детаљније информације о концептуалној анализи О-Х *glide* хибридног механизма се налазе у [3] .



Слика 4. *Конфигурисање виртуелног прототипа машине*

4. ПРОГРАМСКИ СИСТЕМ ЗА РЕАЛИЗАЦИЈУ ЗАДАТКА

Као систем за реализацију задатка машине алатке на бази О-Х хибридног механизма се користи CAD/CAM окружење. За потребе овог рада коришћен је програмски систем *Siemens NX*, у коме је конфигурисан и виртуелни прототип.

Унутар програмског система NX-а налази се велики број различитих модула који се баве специфичним задацима. Конкретно у овом раду се користи *Manufacturing* и *Machine Tool Builder*.

4.1. Manufacturing

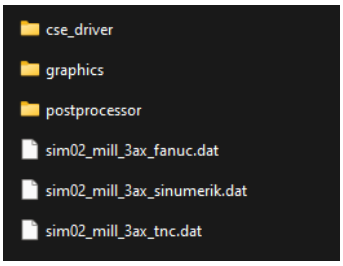
Manufacturing представља подсистем NX програмског система који омогућава интерактивно програмирање путање алата. NX повећава продуктивност инжењера тако што трансформише цео процес производње делова користећи један, *CAM* софтвер, аутоматизује програмирање, убрзава припрему за стварање управљачког програма и постиже високу прецизност користећи напредне технологије формирања путање алата и интегрисану симулацију вођену управљачким програмом [4].

4.2. Machine Tool Builder

Machine Tool Builder (MTB) је посебан модул у NX-Manufacturing подсистему који помаже при креирању кинематичког модела. Поред креирања модела, има могућност модификовања кинематичког модела и симулације. Пре почетка креирања кинематичког модела машине алатке, потребно је формирати модел склопа те машине. *MTB* користи кинематско стабло за представљање кинематичког модела који се креира. Ово стабло садржи кинематске компоненте и показује односе између сваке од тих компонената [4].

4.3. Machine Tool Library

Конструисана машина алатка може се сачувати у библиотеци машина програмског система (*Machine Tool Library).* Датотека треба да садржи поддатотеке са постпроцесорима који се користе на тој машини (*Sinumerik, Fanuc…), cse_driver,* као и фолдер *graphics* који представља фолдер склопа машине са свим компонентама. Такође у фолдеру постоји датотеке *.dat* различитих компанија нпр. *Fanuc, Sinumerik…* (слика 5) .

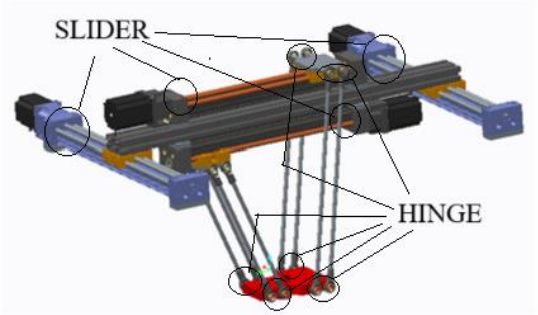


Слика 5. *Пример фолдера сачуване машине алатке*

5. ЗАДАТАК И РЕАЛИЗАЦИЈА

Практични део рада представља реализација симулације обраде радног предмета на машини алатки О-Х *glide* хибридног механизма. Циљ је проверити да ли *Siemens NX* може да оствари кретање машине алатке са хибридним, серијско-паралелним механизмом.

Симулација кинематике механизма машине алатке обухвата моделовање хибридног механизма са свим кинематичким везама између компоненти, што омогућава кретање виртуелних елемената прототипа као система крутог тела. Потребне кинематичке везе су три транслације које користе везу клизача (*Slider*), и 16 ротација, које користе обртне везе (*Hinge),* на местима везе штапова паралелног механизма са покретном платформом и са клизачима, слика 6.



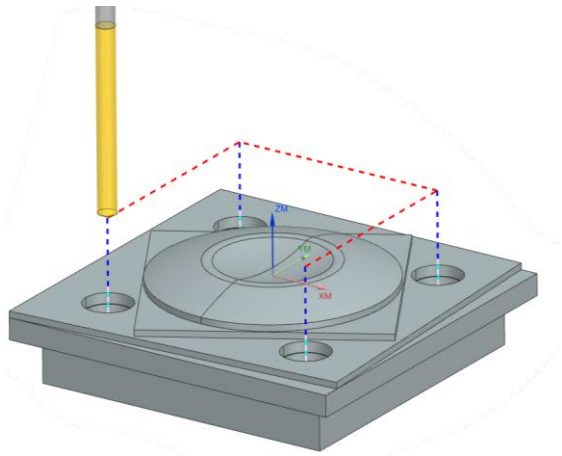
Слика 6. *Кинематичке везе*

Након дефинисања кинематичких веза, потребно је дефинисати кинематички модел преко *Machine Tool Builder-a.* Неопходно је дефинисати базу (*Machine base*), односно потребно је означити компоненте које су непокретне код машине, и машинску нулту тачку (*Machine Zero*), односно почетни (нулти) положај машине алатке. Машинска нулта тачка се код ове машине алатке налази на самом врху главног вретена.

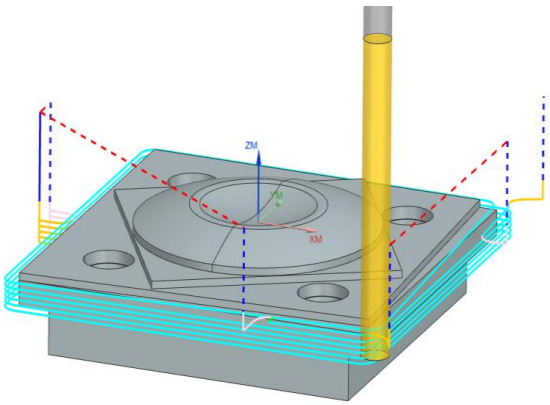
Након потенцијално успешног дефинисања кинематичког модела виртуелне машине алатке базиране на хибридном механизму, виртуелна машина се чува у библиотеци.

5.1. Симулација применом тест радног предмета

За проверу симулације виртуелне машине алатке користи се тест радни предмет (слика 6 и 7), у *Manufacturing*-у. Тест радног предмета је димензија 64x64мм.



Слика 6. *Бушење рупа на тест радном предмету*



Слика 7. *Контурна обрада на тест радном предмету*

6. ЗАКЉУЧАК

Развој машине алатке представља један од најсложенијих производа који се користе у машинству и спада у дуготрајан и комплексан посао који поред непосредног искуства инжењера захтева и познавање карактеристика компонената будуће машине.

Примена виртуелног прототипа је у потпуности оправдана будући да је већ у фази избора конфигурације елемената омогућила увид у: применљивост и степен искоришћености појединих компонената, исправност управљачког алгоритма и експлоатационе карактеристике будуће машине алатке.

У раду је приказан виртуелни прототип машине са хибридном кинематиком који је конфигурисан у CAD/CAM окружењу, где је извршена и симулација рада механизма на тест радном предмету. Реализација симулације је успешна у циљу верификације реализованог прототипа и кинематике.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] S. Tabaković, “Savremeni prilazi u razvoju proizvoda 2022/23,” [Online]. Available: https://sova.uns.ac.rs/course/view.php?id=3620. [Accessed 25 Avgust 2023].

[2] S. Tabaković, S. Živanović, M. Zeljković and Z. Dimić, “Konfigurisanje nove edukacione mašine alatke na bazi mehanizma sa hibridnom kinematikom,” 2021. [Online].Available: https://machinery.mas.bg.ac.rs/handle/123456789/3466. [Accessed 11 September 2023].

[3] S. Živanović, S. Tabaković, M. Zeljković and Z. Milojević, “Configuring a machine tool based on hybrid O-X glide mechanism,” in *MACHINE DESIGN*, *VOL.8*, Novi Sad, Belgrade, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering and University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, 2016, pp. 141-148.

[4] "Integrated Simulation and Verification (ISV)," SIEMENS, [Online]. Available: https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/209349590/PL20200605194735749.mfgisv/xid1122086. [Accessed 24 Septembar 2023].

[5] "Indish Technologies," 29 April 2013. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.indishtech.com/wp-content/uploads/2018/07/Siemens-NX-manufacturing-technology.pdf. [Accessed 24 Septembar 2023].

Кратка биографија:

Ђорђе Пуповац рођен је у Врбасу 1999. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинство – Производно машинство, одбранио је 2023. год. контакт: djordjepupovac2013@gmail.com

Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

UDK: 007.52
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM05Tojagic

РАЗВОЈ ПОСТПРОЦЕСОРСКОГ МОДУЛА ЗА ПРОГРАМИРАЊЕ НУМЕРИЧКИ УПРАВЉАНИХ МАШИНА АЛАТКИ ЗА ОБРАДУ СТРУГАЊЕМ

DEVELOPMENT OF A POST-PROCESSING MODULE FOR CNC TURNING MACHINE TOOLS

Милош Тојагић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – *Тема рада је развој постпроцесора за програмирање нумерички управљаних машина алатки. Описана је историја CNC машина и наведена је њихова подела а акценат је на машинама алаткама за обраду стругањем. Описани су програмски системи из групе CIM технологија а детаљније је описан модул за постпроцесирање. Креиран је постпроцесор, приказан је процес решавања задатка као и крајњи резултат рада.*

Кључне речи: *CNC машине алатке, програмирање машина алатки, креирање постпроцесорског модула*

Abstract – *The topic of this paper is development of the postprocessor for the programming of numerically controlled machine tools. The history of CNC machines is described and their division is indicated, and the emphasis is on machines with turning tools. Program systems from the group of CIM technologies are described and the post-processing module is described in detail. A post-processor was created, the process of solving tasks and final result of the work were shown.*

Keywords: *CNC machine tools, machine tool programming, post processing module creation*

1. УВОД

Задатак рада обухвата креирање постпроцесорског модула за нумерички управљану машину алатку уз анализу могућности примене савремених програмских система. Постпроцесорски подсистем CAM технологије представља подсистем који путању алата претвара у управљачки код прилагођен машини алатки и њеном управљачком систему.

2. ИСТОРИЈА CNC МАШИНА

Проналазак машина које раде уместо човека био је велики искорак у људској историји. Појавом серијске производње дошло је до развоја машина алатки. Машине алатке омогућавају прецизно обликовање материјала са циљем стварања делова и производа који се користе свакодневно [1]. Средином двадесетог века створене су прве нумерички управљане машине алатке и њихова примена се убрзо повећала.

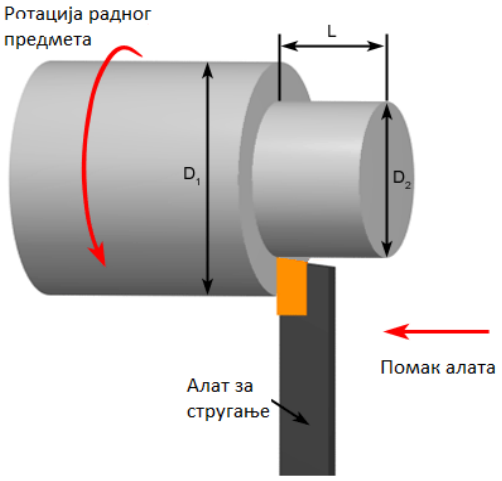
Дошло се до сазнања да су нумерички управљане машине прецизније, да остварују бољи квалитет обраде и да производе уједначеније делове у односу на делове произведене машинама са ручним управљањем.

Нумеричко управљање се може дефинисати као метода управљања машинама алаткама где се кодиране геометријске и технолошке инструкције уносе у контролни систем машине алатке. Инструкције су сачињене од комбинације слова, бројева и одређених симбола, сложене логичким распоредом и по претходно дефинисаној форми.

Компјутерски нумеричко управљање (CNC- Computer Numerical Control) представља новију, унапређену технологију нумеричког управљања (NC- Numerical Control). Флексибилност је једна од главних предности CNC технологије и разлог велике распрострањености оваквих машина алатки у модерној производњи. Постоје различите врсте CNC машина, једна од група у које ове машине спадају јесу машине алатке за обраду скидањем струготине стругањем [3].

3. CNC МАШИНЕ АЛАТКЕ ЗА ОБРАДУ СТРУГАЊЕМ

Машине алатке за обраду стругањем служе за обраду делова најчешће цилиндричног облика и такве машине називамо струговима. Код стругања радни предмет врши ротационо кретање а алат, који је најчешће стационаран, прилази у контакт са радним предметом и обрађује га [2].



Слика 1. *Шематски приказ принципа стругања*

Напомена:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Слободан Табаковић, ред. проф.

Операцијама обраде стругањем могуће је израдити разне производе: различите врсте вијака, навртки, осовина, вратила, чаура, ременица, клинова, клипова, кућишта и још много тога. Основна подела код операција обраде стругањем је на операције уздужне и попречне обраде, али изводи се и израда конуса (спољашњег и унутрашњег), израда профила (профилним алатом и копирањем), неротационо стругање (призматичних делова и лењо стругање), израда навоја (спољашњег и унутрашњег), израда и обрада отвора и рупа, израда различитих врста жљебова итд.

Према квалитету обрађене површине која је резултат одабира алата и параметара обраде разликујемо грубу, полузавршну и завршну обраду.

На CNC машинама, сва кретања алата контролисана су координатним системом. Њихово прецизно позиционирање у машини алатки остварује се дефинисањем карактеристичних координатних система и њихових почетних тачака у односу на које се врши орјентација и дефинисање позиције подсистема машина.

4. CAM ПРОГРАМСКИ СИСТЕМИ

Савремени принципи управљања CNC машина алатки подразумевају употребу специјализованих софтвера за обављање послова израде управљачких програма. CAM (Computer Aided Manufacturing) – рачунаром подржана производња уз CAD (Computer Aided Design) – рачунаром подржано дизајнирање, део су модерне технологије CIM (Computer Integrated Manufacturing) – рачунаром интегрисана производња [3].

Програмски системи се деле према различитим критеријума, између осталог и према технологији обраде којој су намењени. Постоје CAM програмски системи специфично прилагођени обради материјала скидањем струготине. Технологија обраде скидањем струготине је историјски гледано прва производна технологија у коју је имплементирано нумеричко управљање.

Структуру програмских система чине три модула, а то су препроцесор, процесор и постпроцесор. Препроцесор као уводни подсистем има за циљ формирање и обликовање улазних информација у геометријској форми. Основни задатак процесора је формирање путање алата која касније служи постпроцесорском модулу где се финализује процес.

4.1. Постпроцесор

Постпроцесор се израђује у складу са спецификацијама које одређује [3]:

- редослед кретања оса конкретне НУ машине,
- карактеристике управљачког подсистема
- ограничења дефинисана сигурносним протоколима,
- опште функције кретања и помоћне функције програмирања,
- методу описа геометријских елемената путање алата (примена релативних или апсолутних координата, векторску или скаларну методу описа криволинијских сегмената путање и сл.),
- допунске информације дефинисане од стране корисника у складу са технолошком документацијом, итд.

Ова спецификација се дефинише за конкретног корисника а у складу са управљачким системом машине алатке и њеним физичким карактеристикама.

5. SIEMENS NX АЛАТИ ЗА ГЕНЕРИСАЊЕ ПОСТПРОЦЕСОРА

SiemensNX представља Siemens-ово CAD/CAM/CAE софтверско решење. Спада у групу напредних и комплексних 3д софтвера, посебно погодан моделовању већих склопова и комплекснијих делова [4].

У оквиру SiemensNX-а постоји сет програмских система намењен креирању постпроцесора и назива се Post Builder. Post Builder пружа графички кориснички интерфејс за креирање постпроцесора. Садржи библиотеку управљачких јединица, подржава употребу више популарних, подразумевајући Siemens Sinumerik управљачке јединице.

Дефинисање и прилагођавање постпроцесора у Post Builderu обухвата групе подешавања која се односе на машину алатку, програм и путању алата, N/C податке, подешавање излазних информација, виртуелни N/C контролер.

У оквиру SiemensNX-а постоји још један модул за дефинисање постпроцесора а назива се PostConfigurator.

6. ИЗРАДА И ВЕРИФИКАЦИЈА ПОСТПРОЦЕСОРА ЗА НУ СТРУГ

6.1. Задатак

Задатак рада је дефинисање постпроцесорског модула за НУ струг. На основу опште прихваћених критеријума потребно је прилагодити параметре у постпроцесору. Управљачки систем машине алатке такође треба узети у обзир и ускладити постпроцесор према могућностима.

6.2. Машина

Машина за коју је дефинисан постпроцесор је CNC струг произвођача Revera Design. У питању је струг са две нумерички управљане праволинијске осе (X и Z осе). Машина алатка има систем за хлађење и подмазивање.

Пречник који стезна глава може захватити је ø125mm.

Путања по Z оси је 340mm, софтверски ограничена на 130мм а реална путања је 270mm.

Путања по X оси је 96mm.

Брзина обртања је у распону од 240 до 1800 o/min. Могућа брзина обртања (ротација стезне главе машине) n=3000 o/min.

Машина алатка је специјално направљена за лабораторијске услове. Конструкција машине подржава обраду различитих врста материјала, пре свега лаких метала и различитих типова пластика, електрични погон се напаја монофазном струјом. Налази се у лабораторији Научно-технолошког парка у Новом Саду.

6.3. Управљачки систем машине алатке

Управљачки систем НУ струга за који је, у овом задатку, израђиван постпроцесор је Mach3. У питању је софтверски производ компаније Artsoft који станд-

радном рачунару даје функцију CNC управљачког система. Mach3 функционише на већини Windows оперативних система, контролише кретање степ и серво мотора машине алатке процесирањем Г кода. Mach3 је могуће прилагодити личним потребама и шримењив је на различитим машинама. Интерфејс овог софтвера је једноставан и могуће га је изменити тако да се прилагоди потребама сваког корисника [5].

6.4. Поступак израде постпроцесора

Након што су установљени услови за које се израђује постпроцесор ступа се у поступак израде. На основу листе кодова које подржава управљачка јединица Mach3 и на основу димензија радног простора, брзине обртања главног вретена, начина довођења средства за хлађење и подмазивање и других фактора, дефинишу се параметри постпроцесора.

Постпроцесор за овај НУ струг је израђен на бази постпроцесора за Fanuc управљачки систем. Прилагођено је то да су управљане осе само X и Z, док се за Y осу уопште не генеришу управљачке речи. Узимајући у обзир да машина алатка нема магацин алата, процес измене алата је пребачен са аутоматске на ручну измену алата.

Коментари у управљачком програму намењени су дељењу програма ради лакшег читања и праћења у току обраде или једноставно при прегледању G кода. Додати су коментари за означавање почетка и краја програма, за означавање почетка операције обраде, у виду обавештења оператеру на машини алатки за замену алата. Почетак и крај коментара се означавају заградама. За јединице мере су задржане метричке јединице а не инчи.

У склопу SiemensNX-а, у модулу за моделовање креиран је тест радни предмет. У модулу Manufacturing који служи за примену CAM технологије креиране су операције обраде, дефинисани су алати који ће се користити за обраду. Након тога добијена путања алата се постпроцесира према претходно креираном постпроцесору.

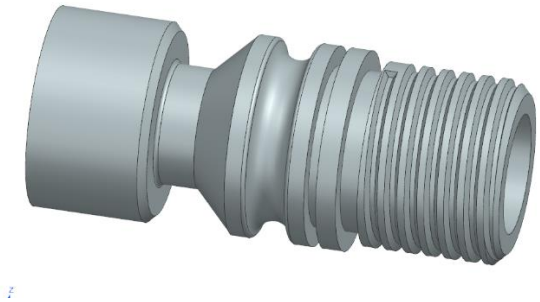
Уколико софтвер не даје упозорења о грешкама у креираном управљачком коду, креирано је на исправан начин. Ако је у питању други случај да софтвер препозна грешку у креираном G коду, неопходно је идентификовати грешку при креирању постпроцесора у Post Builderu, кориговати је и поновити поступак све док се не добије жељени резултат.

Добија се управљачки код. Цео управљачки код је депонован на Факултету техничких наука у Новом Саду.

6.2. Верификација применом тест радног предмета

Верификација управљачког програма применом тест радног предмета се обавља са циљем практичне провере квалитета израде постпроцесора.

Радни предмет је претходно моделиран у савременом 3Д софтверу SiemensNX у чијем модулу (PostBuilder) је и израђен постпроцесор. Тест радни предмет се израђује од припремка пластичног материјала, димензија ø50x118мм. Димензије и геометрија припремка су прилагођене стезном прибору машине алатке и искористивим димензијама радног простора.



Слика 2. *Тродимензионални модел тест радног предмета*

7. ЗАКЉУЧАК

Рађено је у следећим модулима у оквиру програмског система:

- модул за 3Д моделовање, у коме је креиран тест радни предмет
- модул за CAM, у коме су дефинисане операције обраде и креирана је путања алата
- модул за постпроцесирање – PostBuilder, у коме је израђен постпроцесор.

Утврђено је да је неопходно обратити пажњу на сваки детаљ при дефинисању постпроцесора. Свака погрешно дефинисана карактеристика или контрадикторност у постпроцесорском модулу онемогућује израду управљачког кода и захтева враћање неколико корака у назад што изискује додатно време.

Доста уштеде на времену доприноси креирање постпроцесора на бази већ постојећег сличних карактеристика. На тај начин није потребно од самог почетка дефинисати све детаље које велики број машина из исте групе међусобно деле.

Програмски систем за CAM у оквиру SiemensNX-а има велику базу података алата за операције стругања, као и широк спектар операција обраде. За овај модул постоји одговарајућа корисничка помоћ и детаљна упутства за његову примену.

Post Builder пружа једноставан кориснички интерфејс, иако старомодног изгледа погодан је за оријентацију при раду.

Управљачки систем Mach3 представља најпростије решење и врло једноставно се управљачки код увози и извози из система. Корисник има могућност праћења рада машине алатке, има увид у времена обраде и сл. На корисничком интерфејсу овог управљачког система постоје опције за кориговање параметара обраде тако да је на пример могуће смањити број обртаја главног вретена, могуће је зауставити кретање машине и слично.

Постпроцесор је могао бити израђен у SiemensNX-овом Post Configurator-у, за будући развој овог задатка било би интересантно упоредити овај модул са Post Builder-ом. Изведена је виртуелна симулација обраде, израђен је управљачки код за тест радни предмет за дефинисану поставку машине и управљачког система. Услед временског ограничења није урађена физичка обрада на машини алатки, за даљи развој задатка би се то одрадило.

8. ЛИТЕРАТУРА

[1] „Toolingu,“ Toolingu, 22 August 2015. [На мрежи]. Available: http://www.toolingu.com/images/finished_pdf_files/300100.pdf. [Последњи приступ 5 August 2023]

[2] P. Smid, „CNC Programming Handbook,“ у *CNC Programming Handbook*, New York, Industrial Press Inc., 2003, p. 529.

[3] M. Zeljković , S. Tabaković , A. Živković, S. Živanović, C. Mlađenović i M. Knežev, Osnove CAD/CAE/CAM tehnologija, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2018.

[4] „Postprocessing and machining simulation,“ Siemens NX, 2023. [На мрежи]. Available: https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/manufacturing/cam-software/postprocessing-simulation/. [Последњи приступ 15 August 2023].

[5] (2023). *Mach 3*. Preuzeto sa machsupport: https://www.machsupport.com/software/mach3/

Кратка биографија:

Милош Тојагић рођен је у Новом Саду 1999. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинствао – Производно машинство одбранио је 2023.год.

Контакт:
milostojagic1999@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 519.816(075.8)
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM06Simic

ПРИМЈЕНА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА У ИЗБОРУ СТРАТЕГИЈЕ ТЕХНИЧКОГ ОДРЖАВАЊА

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING IN CHOOSING THE TECHNICAL MAINTENANCE STRATEGY

Сања Симић, *Факултет Техничких Наука, Нови Сад*

Област – ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Кратак садржај – *Развој културе одржавања у производној индустрији има значајан утицај на ефикасност и успјех производње. Процјена и избор најбоље стратегије одржавања за различите типове кварова је тежак и сложен задатак, јер овај избор захтјева познавање различитих фактора. У оквиру овог рада приказан је поступак избора оптималне стратегије одржавања, за дефинисане услове и критеријуме, примјеном методе вишекритеријумског одлучивања.*

Кључне речи: *Вишекритеријумско одлучивање, Стратегије техничког одржавања, Тотално продуктивно одржавање*

Abstract – *Development of a maintenance culture in the manufacturing industry has a significant impact on the efficiency and success of production. Evaluating and choosing the best maintenance strategy for different types of failures is a difficult and complex task, because this choice requires knowledge of various factors. Within this paper, the procedure for choosing the optimal maintenance strategy for defined conditions and criteria using the multi-criteria decision-making method is presented.*

Keywords: *Multicriteria decision making, Technical maintenance strategies, Total productive maintenance*

1. УВОД

Имплементација савремене културе и схватања процеса одржавања у аутомобилској индустрији данас је неизбјежна. То је процес који захтијева вријеме и посвећеност, али може имати дугорочне користи кроз повећање ефикасности, смањење трошкова и боље резултате у одржавању и перформансама опреме. Процјена и избор најбоље стратегије одржавања захтијева познавање различитих фактора као што су: безбједносни аспекти, проблеми животне средине, трошкови, ограничен буџет, искоришћеност радне снаге, просјечно вријеме које протекне између два отказа у систему (енг.: *Mean Time Between Failure - MTBF*), просјечно вријеме које је потребно за поправку (*Mean Time To Repair - MTTR*) за сваку машину и производну станицу итд.

Управљање и контрола свих ових фактора који се морају узети у обзир управо представља главну сложеност проблема управљања одржавањем.
У оквиру овог мастер рада приказан је поступак доношења одлуке и избор оптималне стратегије одржавања за дефинисане услове и критеријуме примјеном методе вишекритеријумског одлучивања.

2. ПОЈАМ, ПРОЦЕС И МЕТОДЕ ОДЛУЧИВАЊА

Динамичне промјене у свјетској индустрији условиле су да успјешно предузеће мора да има богат и брз процес доношења одлука. Одлучивање је процес избора између више алтернативних праваца у циљу остваривања циљева и задатака. То подразумијева прикупљање, обраду података и доношење одлука уз подршку метода одлучивања [1].

2.1. Појам и процес одлучивања

Доношење одлука (енг.: *Decision making*) представља крајњи резултат одређених менталних процеса који доводе до избора најбоље од више различитих алтернатива [2].

Процес одлучивања чине следеће активности:
- јасно и прецизно дефинисање проблема који је потребно ријешити,
- формулисање циљева које треба постићи рјешавањем проблема,
- проналажење могућих алтернативних рјешења проблема,
- избор и дефинисање критеријума за мјерење достизања циља,
- потребни прорачуни, анализе и евентуално, израчунавање вриједности критеријума за сваку алтернативу,
- проналажење најбоље алтернативе,
- доношење одлуке о реализацији најбоље алтернативе.

2.2. Вишекритеријумско одлучивање

Област вишекритеријумског одлучивања (енг.: *Multicriteria analysis*) почела је да се развија још 70-их година 20. вијека, а подразумијева доношење одлука у ситуацијама када је потребно узети у обзир више различитих критеријума или фактора који утичу на одлуку [3]. Постојање више критеријума од којих неке треба максимизирати, а неке минимизирати, значи да се одлуке доносе у конфликтним условима и да се за рјешавање вишекритеријумских задатака морају прим-

---

НАПОМЕНА:
Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Дејан Лукић, ред. проф.

јенити инструменти који су флексибилнији од строго математичких техника чисте оптимизације [4]. Рјешења која се траже помоћу вишекритеријумске анализе због конфликтних критеријума никада нису идеална. Анализа треба да укаже на најбоље рјешење, унутар скупа могућих рјешења.

2.2.1 АХП - Аналитички хијерархијски процес

АХП метода (енг.: *Analitycal Hierarchy Process*) је развијена од стране Thomasa Saaty-ja 1970-их и представља једну од најчешће коришћених метода вишекритеријумског одлучивања [5]. То је алат заснован на математичким и психолошким основама за анализу комплексних одлука. У односу на друге методе које захтјевају да доносилац одлуке не прави грешке, у АХП методи је укључена чињеница да се грешке у закључивању појављују, при чему доносилац одлуке грешке може избјећи или се суочити са њима. Ова особина АХП методе да прихвата грешке је њена највећа предност.
Примјена АХП методе се реализује кроз четири основна корака: 1: развој модела одлучивања, 2: прикупљање података, 3: процјена тежинских фактора и 4: анализа осјетљивости и избор решења.

3. СТРАТЕГИЈЕ ОДРЖАВАЊА

Одржавање се може дефинисати као она функција у предузећу чија је надлежност константна контрола над постројењима, вршење поправки и омогућавање сталне функционалне способности и очувања производних постројења. Ово укључује рутинске инспекције, поправке, сервисирање и друге активности које се извршавају како би се спријечила неисправност, продужило трајање опреме и осигурао рад машина према одређеним стандардима и захтјевима.
Од процеса одржавања зависи цјелокупна функционалност система, а од тога успјех компанија на тржишту. Са друге стране, одржавање зависи од спремности предузећа на улагања, која предузећу у највећем броју случајева неће директно донијети нови профит.
Развој концепција одржавања условљен је бројним факторима [6]: теротехнолошки захтјеви, организација, дијагностика, технологије, штедња енергије, заштита околине итд.

3.1 Основе стратегија одржавања

Изворна стратегија одржавања, “поправка након отказа“, била је присутна све до 50-их година 20. вијека и убрзо након индустријске експанзије није могла више да одговори на повећане захтјеве свјетског тржишта [7]. Прво савремено схватање одржавања као индустријске и научне дисциплине заживјело је у Сједињеним Америчким Државама, а одатле се даље пренијело и у Европу након другог свјетског рата. Тада су значајно повећани захтјеви за квалитетом производа, а све то је довело до потребе за смањивањем губитака у производњи, редуковањем кварова и отказа машина. Смањивање временских губитака и повећани захтјеви за поузданошћу система, условили су тимове који су се бавили одржавањем да морају да предвиђају отказе. Поправка након што је отказ наступио више није била прихватљива, а активности одржавања су постале планске и временски одређене. Мотивисано губицима у производњи, ново схватање и поглед на одржавање, досеже до највишег менаџмента који потпуно одбацује стару стратегију одржавања и прихвата нову, засновану на одржавању које се предвиђа и врши у тачно одређеним интервалима. Од 70-их година 20. вијека долази до наглих промјена на свјетском тржишту, појаве изузетно сложених техничких система и потпуне промјене и унапређења филозофије одржавања. Нагли развој нових научних дисциплина, динамичне промјене, све бржи развој науке и технологије, појава система аутоматског управљања, информатике и других наука, утицали су и на даљи развој и допуњавање постојећих методологија у управљању одржавањем техничких система. Настанак нових методологија као што је тотално продуктивно одржавање (енг.: *TPM - Total Productive Maintenance*) и одржавање засновано на поузданости (енг.: *RCM - Reliability Centered Maintenance*), обезбиједио је већу ефикасност техничких система, а да при томе они буду у оптималном стању уз минималне трошкове.

3.1.1 Корективно одржавање

Корективно одржавање (енг.: *Corrective maintenance*) је прва стратегија одржавања која се појавила и код ње је највећи интензитет отказа. Његова примјена се своди на једноставну констатацију да се десио неки вид оштећења на машини и да је потребно извести корективне мјере на машини.

3.1.2 Превентивно одржавање

Превентивно одржавање (енг.: *Preventive maintenance*) заснива се на извођењу корективних мјера на машинама по јасно дефинисаним интервалима на чију дужину не утиче стварно стање машине. Овај тип одржавања састоји се од систематског прегледа, откривања, исправљања и спречавања кварова прије него што они постану стварни.

3.1.3 Одржавање према стању

Одржавање према стању **(**енг.: *Conditional maintenance*) заснива се на на три основна приступа: заштита, надзор и дијагностика. Овај тип одржавања примјењује углавном за уређаје код којих се захтијева велика сигурност и поузданост у раду.

3.1.4 Проактивно одржавање

Проактивно одржавање (енг.: *Proactive maintenance*) је напредна стратегија одржавања која се фокусира на предвиђање и спречавање неисправности и кварова прије него што се они појаве. Сваки од отказа се анализира, а затим се спроводе проактивне мјере у циљу спречавање поновног јављања истих оштећења и кварова.

3.1.5 Тотално продуктивно одржавање

Тотално продуктивно одржавање (енг.: *Total Productive Maintenance - TPM*) има незаобилазну улогу у јапанској филозофији, а представља концепт у области одржавања и управљања опремом који има за циљ да постигне највиши могући ниво ефикасности и производње кроз оптимално одржавање и управљање производним системима [6].

4. ИЗБОР ОПТИМАЛНЕ СТРАТЕГИЈЕ ОДРЖАВАЊА ПРИМЈЕНОМ АНАЛИТИЧКОГ ХИЈЕРАРХИЈСКОГ ПРОЦЕСА ОДЛУЧИВАЊА

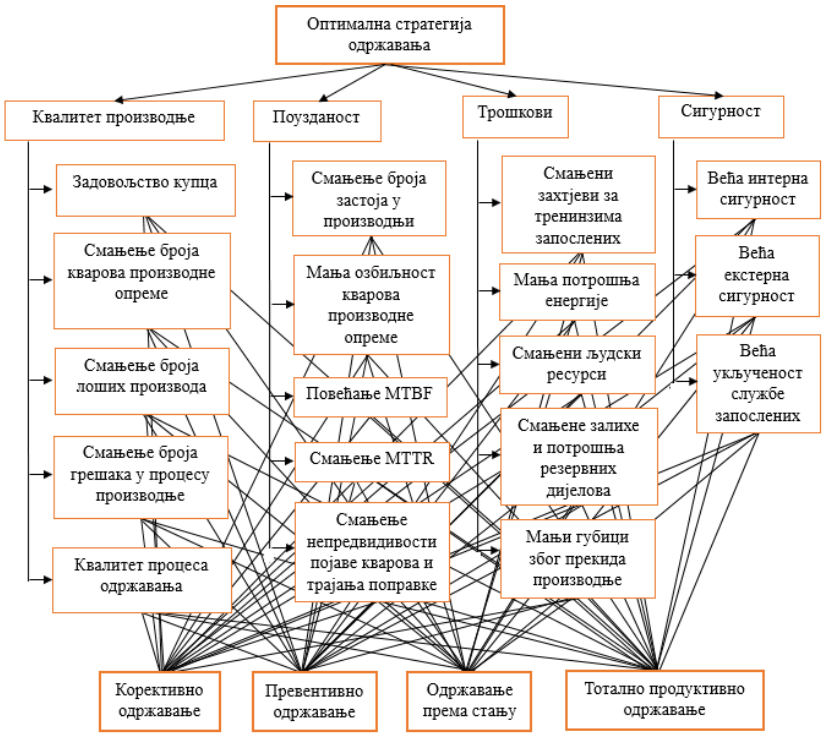
Проблеми одржавања су релевантна питања која зависе од специфичности производног система, а са којима се суочавају компаније и њихови купци. Овај рад даје приказ поступка избора оптималне стратегије техничког одржавања примјеном вишекритеријумског одлучивања у једној компанији која се бави производњом компоненти аутомобилске индустрије. Као метода вишекритеријумског одлучивања изабрана је АХП метода.

На врху модела/пирамиде као циљ је дефинисана *оптимална стратегија техничког одржавања,* слика 1. Као основни критеријуми одлучивања изабрана су следећа четири критеријума: *квалитет производње, поузданост, трошкови и сигурност*, са одговарајућих осамнаест поткритеријума. Алтернативна рјешења су четири основне стратегије одржавања које се примјењују у аутомобилској индустрији: *коректив*но, *превентивно, одржавање према стању и тотално продуктивно одржавање*.

За оцјењивање критеријума/поткритеријума коришћена је скала са вриједностима од 1 до 9, табела 1. Помоћу скале процјене изражава се вриједност критеријума парним упоредним оцјењивањем.

Табела 1. *Скала процјене*

Скала	Значење
1	врло низак ниво
3	низак ниво
5	средњи ниво
7	висок ниво
9	врло висок ниво



Слика 1. *Дефинисана хијерархијска структура за избор стратегије одржавања*

У посматраном случају коришћена је апроксимативна и модификована АХП метода, код којих је резултате одлучивања могуће добити примјеном једноставних математичких операција и одређених корака, за шта је примјењен софтвер MS EXCEL.

Због обима анализе, у раду су приказани само добијени резултати, односно рангирање и избор оптималне стратегије одржавања.

4.1 Рангирање и избор оптималне стратегије одржавања за апроксимативну методу

Након анализе, добијени су резултати који оцјењују четири дефинисане стратегије одржавања на основу свих постављених критеријума и поткритеријума. Резултати добијени за апроксимативну АХП методу приказани су у табели 2.

Табела 2. *Композитни тежински фактори*

a1	0,05157
a2	0,15464
a3	0,25966
a4	0,53414
∑	1,00000

Према резултатима и дефинисаним циљевима, види се да алтернатива 4 има највећу укупну вриједност од *0,53414*. Према томе, она се сматра најбољом у складу са дефинисаним критеријумима и поткритеријумима. Са друге стране, очекивано су се најлошији резултати добили за коративно одржавање, *0,05157*. Превентивно одржавање и одржавање према стању налазе се по значајности између коративног одржавања и ТПМ-а са укупним вриједностима од *0,15464* и *0,25966*, слика 2.

Слика 2. *Резултати апроксимативне АХП методе*

4.2 Рангирање и избор оптималне стратегије одржавања за модификовану методу

Резултати добијени за модификовану АХП методу приказани су у табели 3.

Табела 3. *Композитни тежински фактори*

a1	0,05672
a2	0,18318
a3	0,25734
a4	0,50276
∑	1,00000

Према резултатима и дефинисаним циљевима, види се да алтернатива 4 поново има највећу укупну вриједност. За модификовану АХП методу добијени су веома слични резултати као и за апроксимативну, са незнатним разликама у укупним вриједностима од приближно *0,03* или мање, слика 3.

Слика 3. *Резултати модификоване АХП методе*

ТРМ је тренутно најпожељнија стратегија одржавања у аутомобилској индустрији која доприноси задовољству како купаца и клијената, тако и самих производних компанија. ТРМ као холистичка филозофија и приступ управљању одржавањем има за циљ постизање највише могуће ефикасности и доступности опреме, повећање ефикасности процеса производње и побољшање укупне продуктивности.

5. ЗАКЉУЧАК

Доношење одлука и избор оптималног поступка, стратегије или прилаза у рјешавању неког проблема често представља комплексан проблем због присуства великог броја конфликтних критеријума међу расположивим алтернативама. У оквиру овог рада дат је приказ примјене вишекритеријумског одлучивања у избору оптималне стратегије одржавања. Примјеном АХП методе донијета је одлука о избору оптималне стратегије између четири које су најчешће примјењиване у аутомобилској индустрији. Са укупном вриједношћу од 0,53414, односно 0,50276 за дефинисану алтернативу 4, *тотално продуктивно одржавање,* се издвојило као убједљиво најбољи прилаз за примјену у одржавању машина и система.

Неке од директних предности које су резултат примјене ТРМ-а у производњи су: смањење жалби купаца, значајно смањење производних трошкова, смањење несрећа на раду, смањење загађења околине, повећање ефикасности опреме итд. Индиректне користи су повећање поузданости и повјерења запослених, стандардизација и организованост радног простора, тимски рад, размјена стечених знања и искустава итд.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Перишић, Н., Петковић, М.: „Доношење одлука према циљевима“. Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2009.
[2] Вукман, Ј.: „Оптимизација технолошког процеса обраде танкозидних алуминијумских структура“. Докторска дисертација, Нови Сад, 2022.
[3] Михаиловић, Ј.: „Вишекритеријумско одлучивање – примјер избора добављача помоћу АХП методе“. Инфо М, Вол. 16, Бр. 60, стр. 20-26, 2016.
[4] Лукић, Д., Тодић, В., М., Милошевић, М., Вукман, Ј., Јовичић, Г.: „Избор елемената флексибилног технолошког система применом вишекритеријумског одлучивања“. Техника, Вол. 68, Бр. 5, стр. 864-872, 2013.
[5] Миловановић, Ж.: „Рангирање пројекта на основу ризика примјеном АХП методологије“, Економски погледи, Вол. 21, Бр. 1, стр. 81-102, 2019.
[6] „Концепције одржавања“. Наставни материјал. http://ie.mas.bg.ac.rs/data_store/upload/25_terotehnolosko4.pdf
[7] Станковић, Н.: „Модели одржавања на бази ризика и њихов утицај на поузданост парних турбина“. Докторска дисертација, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, 2018.

Кратка биографија:

Сања Симић рођена је у Лозници 1998. год. Мастер рад на Факултету Техничких Наука из области Производно машинство - Рачунаром подржане технологије одбранила је 2023. год.

контакт: ssanjaa198@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 504
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM07Maric

REKONSTRUKCIJA EKOLOŠKO TEHNOLOŠKOG SISTEMA ZA SAGOREVANJE FLUIDA U POGONU ZA PRIPREMU I TRANSPORT NAFTE I GASA

RECONSTRUCTION OF THE ECOLOGICAL TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR THE COMBUSTION OF FLUIDS IN THE PLANT FOR THE PREPARATION AND TRANSPORTATION OF OIL AND GAS

Dušan Marić, Borislav Savković, *Fakultet tehničkih nauka,* Novi Sad

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – *Cilj rekonstrukcije sistema za prikupljanje i spaljivanje fluida i izgradnjom visoke baklje u Pogonu za PITNIG Elemir jeste da se postignu visoki standardi očuvanja životne sredine i ekoloških sistema, uz značajne ekonomske i sigurnosne benefite.*

Ključne reči: *Rekonstrukcija, baklja, ekologija, ekološki sistemi, sagorevanje, gasovi*

Abstract - *The goal of the reconstruction of the fluid collection and burning system and the construction of a high flare in the PITNIG Elemir Plant is to achieve high standards of environmental protection and ecological systems, with significant economic and safety benefits.*

Keywords: *Reconstruction, torch, ecology, ecological systems, combustion, gases*

1. UVOD

U okviru ovog rada izvršen je opis rekonstrukcije niske baklje u visoku baklju. Sam opis instalacije, procesi koji se dešavaju i način funkcionisanja baklje i njenih delova. Prednosti koje donosi u odnosu na nisku baklju i benefite sa aspekta ekoloških sistema i zaštite životne sredine.

Životna sredina ili čovekova okolina predstavlja sve ono što nas okružuje, odnosno sve ono sa čime je direktno ili indirektno povezana čovekova životna i proizvodna aktivnost [1,2].

Zagađenje životne sredine jeste unošenje zagađujućih materija ili energije u životnu sredinu, izazvano ljudskom delatnošću ili prirodnim procesima koje ima ili može imati štetne posledice na kvalitet životne sredine i zdravlje ljudi [3-6].

2. POGON „PITNIG“ ELEMIR

Pogon za PITNIG Elemir projektovan je za preradu i pripremu prirodnog gasa, gasnog kondenzata i sirovog gazolina. Sirovine u pogonu za proizvodnju TNG i gazolina su prirodni gas, gasni kondenzat i sirovi gazolin.

Postrojenje je izgrađeno 1963. godine, kasnije rekonstrukcije obuhvatale su i domaću opremu i izgradnja se izvodila na osnovu zakonske regulative naše zemlje, slika 1. Postrojenje bez nekih posebnih popravki radi sve do danas [7].

Slika1. *Skladište „PITNIG“ Elemir*

Proizvodni program Pogona za PITNIG Elemir čine: pripremljeni prirodni gas koji se direktno otprema u distributivnu mrežu, propan, n-butan, i-butan, debutanizirani gazolin.

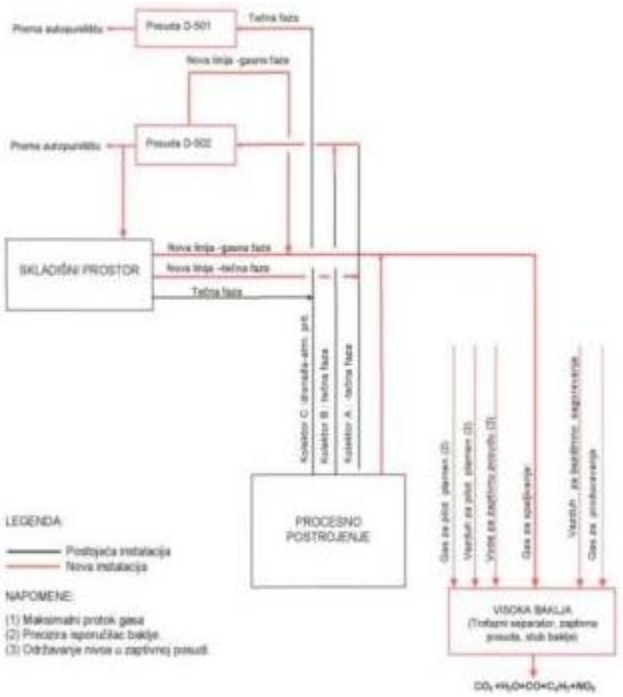
Procesno postrojenje radi 350 dana u toku godine. Pogon raspolaže sa potrebnom električnom energijom, instrumentalnim vazduhom, pripremljenom vodom i gorivim gasom za odgovarajuću opremu i objekte. Proces pripreme prirodnog gasa i proizvodnje TNG i gazolina u pogonu za PITNIG Elemir čine šest tehnoloških operacija: separacija, dehidratacija, apsorcija, desorpcija, destilacija i rektifikacija. Uzroci koji najčešće dovode do poremećaja tehnološkog procesa, a samim tim i potrebe za postojanjem sistema za prikupljanje i spaljivanje procesnih fluida na baklji su [7,8]:

- Nestanak električne energije,
- Otkaz na merno regulacionoj opremi ili procesnim uređajima,
- Gašenje procesne peći,
- Promena kvaliteta, protoka ili pritiska ulaznog gasa, ili gasnog kondenzata u kraćem vremenskom periodu.

Problem rasterećenja i sagorevanja tečnih i gasovitih ugljovodonika na niskoj baklji – grabi, koja je po današnjim standardima neprihvatljiva sa aspekata ekologije, industrijske bezbednosti i tehnologije, se rešava na način da se gasna faza usmerava na sagorevanje na savremenoj visokoj baklji, a sva tečna faza se prikuplja, skladišti i čuva za kasniju preradu, a postojeća linija koja ide prema niskoj baklji-grabi se ukida, a samim tim se ukida i niska graba-baklja.

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

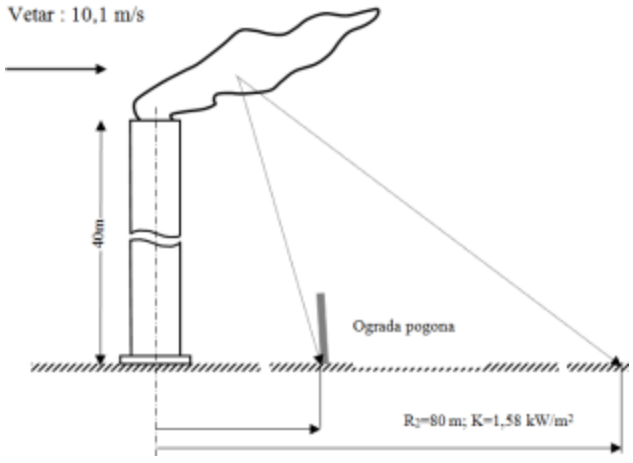
Rekonstrukcija i proširenje sistema za sakupljanje i spaljivanje fluida u Pogonu PITNIG Elemir treba da obezbedi ekološke, ekonomske i sigurnosne zahteve, a to će se postići odvajanjem gasne i tečne faze i izgradnjom visoke baklje za spaljivanje gasova, slika 2.



Slika 2. *Rekonstruisani sistem-visoka baklja*

3. VISOKA BAKLJA

Da bi se odredila moguća lokacija baklje neophodno je sa dovoljnom tačnošću odrediti dimenzije baklje i zone intenziteta toplotnog zračenja, slika 3.
Prečnik baklje je dimenzionisan na osnovu maksimalnog protoka gasa koji u vanrednim situacijama može doći na baklju. Određivanje maksimalnog protoka gasa zasniva se na analizi procesa (kapacitet, radni uslovi i dr.) i situacijama kada može doći do povećanog protoka gasa u sistemu baklje (nestanak električne energije, prestanak protoka rashladne vode itd.).
Visina baklje se izračunava na osnovu dozvoljenog intenziteta toplotnog zračenja prihvatljivog za ljude i opremu, slika 4.



Slika 3. *Prikazani su intenziteti toplotnog zračenja i odgovarajući radijusi*

Slika 4. *Ispuštanje viška gasova na visokoj baklji*

Sastav gasa je jedan od bitnih faktora od koga direktno zavisi ogrevna vrednost smese gasa koji sagoreva na vrhu baklje. Što je veća ogrevna vrednost gasa to su i radijusi zahtevanih sigurnosnih vrednosti intenziteta toplotne radijacije veći.
Aktuelni sastav gasa, koji ulazi u postrojenje kao sirovina, ima veliki sadržaj ugljendioksida koji smanjuje ogrevnu vrednost gasa, tabela 1.

Tabela 1. *Karakteristike ulaznih sirovina*

Карактеристике улазних сировина :

ПРИРОДНИ ГАС

Komponenta	% mol.
Metan	74,88
Etan	4,91
Propan	2,29
n-Butan	0,88
izo-Butan	0,75
n-Pentan	0,26
izo-Pentan	0,30
heksani +	0,12
Ugljen-dioksid	12,61
Azot	3,00
srednja molekulska težina g/mol	22,34
gustina u odnosu na vazduh	0,771
toplotna vrednost kJ/m^3,	33 186

4. RAZLOG REKONSTRUKCIJE NISKE BAKLJE

Tečna i gasna faza su se do sada spaljivali u grabi (jami) nedaleko od postrojenja. Pri spaljivanju tečne faze javljao se veliki oblak crnog dima. Sa druge strane gubila se značajna količina tečnog proizvoda, slika 5.
Da bi se ovo izbeglo, tečna faza (operacije pri remontu postrojenja) se šalje gravitaciono u ukopane rezervoare, (u zavisnosti od pritiska pare tečne faze) D-501 (atmosferski rezervoar), čiji se sadržaj dalje odvozi cisternom u rafineriju na dalju obradu i u posudu D-502 (rezervoar pod pritiskom) čiji se sadržaj ponovo vraća pumpom P-502 u sirovinske rezervoare D-27B i D-27C, a iz njih

kasnije u procesno postrojenje na preradu i proizvodnju TNG i gazolina.
Parna faza, preko cevovoda, koji je priključen za svaku posudu, u kojoj se nalazi parna faza, šalje se u kolektor baklje, (ukoliko dođe do povećanja pritiska iz bilo kog razloga i preti da ugrozi posudu), i dalje prema separatoru para tečno - nadzemna posuda D-503. Iz nadzemne posude gas ulazi u tzv. zaptivnu posudu D-504, prolazi kroz sloj vode (vodeni zaptivač) i odlazi na vrh baklje gde se spaljuje. Iz posude D-503 tečna faza se pumpom P-504 vraća u ukopanu posudu D-502 i dalje ponovo na obradu u postrojenje.
Ovom instalacijom postiže se sledeće:
- tečna faza se sakuplja i vraća u proces,
- sprečava se emisija gasova preko sigurnosnih ventila, koji bi dalje mogli da formiraju eksplozivni oblak, već se sagorevaju u eksplozivno neaktivne proizvode.

Dakle, ugrađena oprema je sledeća:
- Posude: D-501, D-502,D-503, D-504
- Odgovarajuća instrumentacija; merači nivoa: pritiska, temperature, sa odgovarajućim alarmima,
- Pumpe: P-502, P-503A/B (radna i rezervna),
- Stub baklje: B-501 opremljen pilotima.

Slika 5. *Niska baklja-graba*

5. INSTALACIJA VISOKE BAKLJE

Stub visoke baklje B-501(1), slika 6.
Namena: Bezdimno sagorevanje ugljovodonika, putem dodatnog uduvavanja "viška vazduha".
Procenjeni prečnik (mm): 258,
Procenjena visina (m): 40,
Materijal: ugljenični čelik, vrh baklje-neršajući čelik.

Slika 6. *Visoka baklja*

Posude, slika 7 i 8.

D-503
Namena: Separator.
Zapremina (m^3): 10,
Radni pritisak (bar): 0,1 do 2,
Projektni pritisak (bar): 6,
Radna temperatura (^oC): -30 do 200,
Projektna temperatura (^oC): 250,
Prečnik D (mm): 1600,
Dužina L (mm): 4830,
Materijal: ugljenični čelik.

Slika 7. *Posuda D-503 (horizontalni separator gas-tečnosti)*

D-504
Namena: Zaustavljač plamena.
Zapremina (m^3): (2),
Radni pritisak (bar): 0 do 0,34,
Projektni pritisak (bar): 6,
Radna temperatura (^oC): -30 do 200,
Projektna temperatura (^oC): 250,
Prečnik D (mm): (1),
Dužina L (mm): (2,5),
Materijal: ugljenični čelik.

Slika 8. *Posuda D-504 (zaptivna posuda)*

Pumpe
P-503 A/B
Namena: Prepumpavanje iz posude D-503 u posudu D-502.
Tip: centrifugalna - horizontalna,
Protok (m^3/h): 25,
Pritisak na potisu (bar): 8,5,
Radna temperatura: (^oC): -30 do 200,
Snaga (kW): 14,6.

D-502, slika 9.
Daljinsko merenje nivoa,temperature,pritiska,
Alarmi nivoa,temperature,pritiska,
Uključivanje/isključivanje pumpe.

Slika 9. *Ukopani drenažni rezervoar*

6. OPIS REKONSTRUKCIJE EKOLOŠKO TEHNOLOŠKOG SISTEMA ZA SAGOREVANJE FLUIDA

Rekonstrukcija i proširenje instalacije obuhvata sledeće:

- Ukidanje niske baklje (grabe): razdvajanje kolektora A (kolektor gasne ugljovodonične faze), kolektora B (kolektor tečne ugljovodonične faze) i linije niske baklje (grabe).
- Kolektor A (kolektor gasne ugljovodonične faze) se povezuje na novi glavni kolektor ka visokoj baklji, namenjenoj za kontrolisano i ekološki prihvatljivo sagorevanje isključivo gasne ugljovodonične faze.
- Kolektor B se povezuje sa novim ukopanim rezervoarom za prikupljanje i privremeno skladištenje tečne ugljovodonične faze. Sakupljena tečna faza se pumpom prebacuje u postojeće sirovinske rezervoare odakle se kasnije vraća u procesno postrojenje na preradu. Na ovaj način se ukida spaljivanje tečne faze.
- Povezivanje kolektora C, koji je pod atmosferskim pritiskom, sa novom posudom D-501 za prikupljanje drenažnih negorivih fluida. Prikupljeni fluidi se iz posude transportuju autocisternom dalje na preradu.
- Uvođenje novog glavnog kolektora za prikupljanje gasne faze na koji se priključuje postojeći kolektor A gasna faza iz posude i gasna faza ulaznog trofaznog separatora. Gas se iz glavnog kolektora uvodi u separator gde se eventualno kondenzuje voda i ugljovodonici koji se pumpom transportuju u posudu (sakupljanje tečne faze i sprečavanje njenog spaljivanja).

Gasna faza iz trofaznog separatora prolazi kroz zaptivnu posudu. Pilot plamen na vrhu stuba baklje pali gas koji dalje sagoreva. Zaptivna posuda je napunjena vodom do određenog nivoa i njena je osnovna uloga da spreči povrat plamena u kolektorski sistem baklje. Ubacivanjem vazduha u struju stuba baklje obezbeđuje se bezdimno sagorevanje. U glavni kolektor baklje se ubacuje loživi gas čija je osnovna uloga da sistem bude stalno pod nadpritiskom.

Takođe, u stub baklje se ubacuje loživi gas koji sprečava prodor kiseonika i stvaranje eksplozivne smeše.

7. TEHNOLOGIJA TRETIRANJA SVIH VRSTA OTPADNIH MATERIJA

Glavni cilj rekonstrukcije starog sistema za prikupljanje i spaljivanje fluida jeste upravo smanjenje emisije štetnih gasova nastalih sagorevanjem.

Pošto je ovim projektom predviđen sistem za prikupljanje tečne ugljovodonične faze koji će omogućiti da se i tečni naftni gasovi (propan, n-butan, i-butan, njihove smeše) prikupe i sačuvaju u rezervoarskom prostoru, potreba za spaljivanjem ovih produkata i poluprodukata je svedena samo na njihovu gasnu fazu, što predstavlja značajan ekološki napredak u odnosu na postojeće stanje u kome nije moguće sačuvati navedene tečne naftne gasove, pa ih je neophodno spaljivati kompletno (i tečnu i gasnu fazu) prilikom svakog rasterećenja procesnog postrojenja.

S obzirom da se sagorevanje gasne faze dešava uz priliv kiseonika iz okolnog vazduha i da se dodavanjem „viška vazduha“ pomoću uduvavanja dodatne količine vazduha pomoću ventilatora, kojim se omogućava bezdimno sagorevanje, ne očekuje se značajno aerozagađenje nakon spaljivanja procesnih fluida iz procesa.

7.1. Zaštita vode i zemlje od zagađenja

Zemljište i voda su zaštićeni od zagađenja u slučaju akcidenta, jer će drenažne posude biti ukopane u vodonepropusnoj betonskoj tankvani. Verovatnoća procurivanja rezervoara tečne faze i kondenzata je jako mala - oko 10^{-5}.

Slika 10. *Zagađenost reka otpadnim vodama*

7.2. Tretiranje čvrstog otpada

Prilikom intervencija na održavanju opreme, manjih ili većih curenja iz i pored rezervoara, pumpi za utakanje i istakanje i sl, generisaće se određena količina čvrstog otpada koji ima svojstva opasnog otpada, slika 11. Sa ovom vrstom otpada, postupaće se na adekvatan način. Za sve navedene aktivnosti sa otpadom koji ima svojstva opasnog otpada, obaveza je Nosioca projekta da izvrši njegovo pravilno odlaganje i karakterizaciju i kategorizaciju od strane ovlašćenih i nadležnih institucija pre bilo kakvog drugog postupanja sa njim. Muljevi i čvrsti otpad se ne tretiraju na predmetnom lokalitetu. Mulj i opasni čvrsti otpad iz svih posuda u sistemu Visoke baklje se cisternom transportuje van kruga Pogona za PITNIG Elemir u rezervoar tehnološke kanalizacije (RTK) na Sabirnu stanicu SS-1 Elemir.

Slika 11. *Čvrsti otpad*

8. UTICAJ REKONSTRUKCIJE NA ŽIVOTNU SREDINU U TOKU REDOVNOG RADA POGONA

Kompleks Pogona za PITNIG je sa dugogodišnjom tradicijom u proizvodnji tečnog naftnog gasa. Prateći zahteve zaštite životne sredine, rekonstrukcijom pogona za prikupljanje i spaljivanje procesnih fluida želelo se postići smanjenje emisije ugljovodoničnih gasova nastalih sagorevanjem, a time i poboljšanje stanja životne sredine i zaštita zdravlja okolnog stanovništva.
Poboljšaće se proces sagorevanja (povećati mogućnost potpunog sagorevanja frakcija gasne faze) i smanjiti količina emitovanog ugljen-monoksida. Efekat zaštite okruženja u rekonstrukciji sistema za razdvajanje kolektora gasne i tečne faze je poboljšanje kvaliteta vazduha smanjenjem emisije isparljivih organskih komponenti koje, između ostalog, učestvuju u stvaranju troposferskog (prizemnog) ozona.

8.1. Uticaj na promenu ekosistema

Rekonstrukcija sistema za prikupljanje i spaljivanje fluida vrši se unutar proizvodnog kompleksa Pogona za PITNIG Elemir u okviru kojeg postoji već dugi niz godina sistem sa istom namenom. Na samom prostoru pogona nema biljnih i životinjskih vrsta, ali u široj okolini su identifikovane mnoge retke i ugrožene biljne i životinjske vrste. Svako narušavanje i degradacija prostora dovelo bi u pitanje opstanak živog sveta te stoga treba posebno obratiti pažnju na merenje emisije produkata sagorevanja kao i sprečavanja kontaminacije zemljišta i podzemnih voda da ne bi bilo negativnog uticaja na staništa prirodnih retkosti.

9. ZAKLJUČAK

Rekonstrukcijom sistema za prikupljanje i spaljivanje fluida i izgradnjom visoke baklje u Pogonu za PITNIG Elemir postignuti su visoki standardi očuvanja životne sredine i ekoloških sistema, uz značajne ekonomske i sigurnosne benefite.
Realizacijom projekta su zadovoljeni najviši evrospki standardi ekološke zaštite, a resursi koji su se ranije spaljivali na staroj niskoj baklji (tečni ugljovodonici i tečni naftni gasovi) se danas razdvajaju od gasova koji idu na sagorevanje, čuvaju i skladište u prihvatnim posudama i rezervoarima, odakle se kasnije vraćaju u proces, tj. prerađuju u krajnje proizvode proizvodnog postrojenja. Ovakav način prikupljanja tečnih fluida u zatvorenom sistemu minimizuje rizike od zagađenja zemljišta i podzemnih voda, i povećava bezbednost rafinerijskih procesa.
Na sagorevanje danas ide samo gasna faza, pri čemu se sagorevanje obavlja bezdimno na visokoefikasnim gorionicama visoke baklje, što sve u značajnoj meri minimalizuje emisije štetnih materija u vazduhu i obezbeđuje malo toplotno zračenje.

10. LITERATURA

[1] PIK GROUP d.o.o. https://www.pikgroup.rs/blog/zastita-zivotne-sredine/82/ (pristupljeno u oktobru 2023.)
[2] Zaštita životne sredine,ekologija knjige Marije Brenan https://sr.wikipedia.org/sr (pristupljeno u oktobru 2023.)
[3]https://www.dropbox.com/s/kz0zufp8nqj7pzh/Seminarski%20rad%20- (pristupljeno u oktobru 2023.)
[4] Socijalna ekologija kompendijum Banja Luka https://www.scribd.com/doc/256349018/ (pristupljeno u oktobru 2023.)
[5] Ekologija zagađene sredine https://www.dropbox.com/s/30zb0k92jrmzh6t/Seminarski (pristupljeno u oktobru 2023.)
[6] https://www.seminarski-diplomski.co.rs/BIOLOGIJA/Biologijaseminarski.html (pristupljeno u oktobru 2023.)
[7] Projektovanje infrastrukture NIS https://ntc-nis.rs/nase-usluge/projektovanje-infrastrukture/ (pristupljeno u oktobru 2023.)
[8] Rafinerija gasa Elemir https://www.scribd.com/document/-Rafinerija-Gasa-Elemir-Finalna-Verzija(pristupljeno u oktobru 2023.)

Kratka biografija:

Dušan Marić rođen je u Novom Sadu, 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstvo – Proizvodno mašinstvo odbranio je 2023. godine.

kontakt: maricdusan98@gmail.com

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

Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 629.02
ДОИ: https://doi.org/10.24867/26AM08Djukic

ПРОЈЕКАТ МОДИФИКАЦИЈЕ УРЕЂАЈА ЗА ПОМЈЕРАЊЕ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА

PROJECT OF MODIFICATION OF BELT CONVEYOR SHIFTING HEAD

Милош Ђукић, Драган Живанић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – *У раду је објашњена примјена и начин рада тракастих транспортера на површинским коповима лигнита, принцип помјерања траса транспортера, те кинематика и динамика при помјерању трасе. Пројекат модификације обухвата анализу полужног механизма, анализу полуге методом коначних елемената, као и модификацију хидрауличног система цјевополагача.*

Кључне речи: *Тракасти транспортери, површински коп лигнита, помјерање тракастих транспортера, цјевополагач, хидраулика.*

Abstract – *In this thesis are explained implementation and working principle of belt conveyor in lignite open pit mines, principle of conveor shifting, kinematics and dynamics in shifting process. Project of modification include mechanism analysis with Msc Adams software, finite element analysis of lever and modification of pipelayer hydraulic system.*

Keywords: *Shifting head, Belt conveyor shifting, Open pit mine, Pipelayer, Hydraulics.*

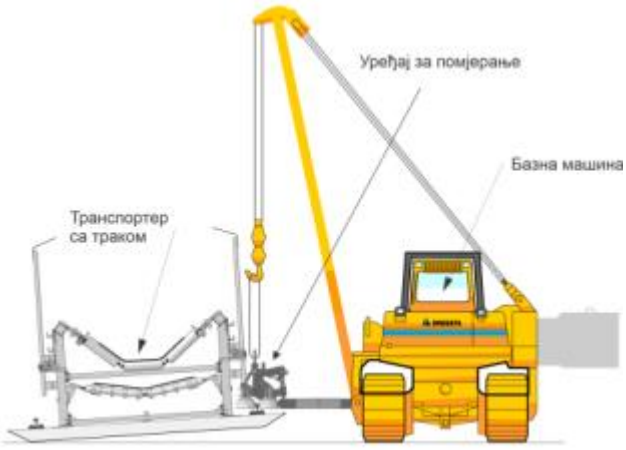
1. УВОД

На површинским коповима лигнита једна од многобројних помоћних радњи је помјерање тракастих транспортера помоћу базне машине – цјевополагача и уређаја (колица) за помјерање (енг. *Shifting head*). Помјерање тракастих транспортера врши се периодично, и то када багер који откопава у блоку не може више при проласку радног фронта да утовари откопане масе на транспортер (самостално или преко самоходног претоварног транспортера). Тада је завршен утовар у максималном дохвату багера и самоходног транспортера. Други случај је када одлагач, премјештајући се са фронтом одлагања, не може одложити јаловину са постојећег положаја транспортера на потребно мјесто у висинском или дубинском блоку. На станарским површинским коповима помјерање транспортера се користи само на откопним и одлагалишним транспортерима на БТО систему (багер - трака - одлагач). С обзиром да се за вријеме помјерања транспортера, БТО систем налази у технолошком застоју и не испуњава своју функцију, смањење фреквенције периода и времена трајања помјерања има битно значење за вријеме искоришћења и основних машина и за обим производње површинског копа. Из ових разлога, а са аспекта машинског одржавања, потребно је да сви уређаји и машине које учествују у овим операцијама буду максимално расположиве и оптимизоване за што лакши и безбједнији рад. Управо ови разлози довели су до модификације постојећег уређаја за помјерање произвођача „ТТУ – Творница транспортних уређаја“ из Тузле, Босна и Херцеговина. Модификација се огледа у томе што је извршена замјена ручног механизма за отварање точкова са хидраулички управљаним механизмом, помоћу одговарајућих хидрауличних актуатора и припадајућих елемената, а притом задржавајући постојећи оквир уређаја.

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

2. ПРЕМЈЕШТАЊЕ ТРАНСПОРТЕРА

Премјештање транспортера са траком може се вршити са премјештањем које је повезано са демонтажом или деформационим помјерањем. Избор методе премјештања зависи од радне снаге потребне за извршење радова и опремљености главном и помоћном механизацијом. Одлучујући утицај има прорачун и процјена, који је од ова два начина исплативији и лакши у сваком конкретном случају. Најчешће се користи деформационо помјерање транспортера, слика 1, које је у овом раду и анализирано. Поред тога, дат је опис тракастог транспортера и његових саставних елемената: понтона, носеће конструкције, носећег ваљчаног слога (гирланде) као и опис радова код помјерања.



Слика 1. Помјерање транспортера помоћу цјевополагача и уређаја за помјерање

3. УРЕЂАЈ ЗА ПОМЈЕРАЊЕ

Помјерање транспортера на ново мјесто рада, од косине или ка косини етаже врши се попречно на осу транспортера. Изводи се базном машином за помјерање која има посебан уређај за хватање шина – главу са ролнама (шински хватач, у наставку рада – уређај за помјерање), слика 2.

Слика 2. Модификовани уређај за помјерање (црвено - ново конструкционо рјешење, жуто – постојеће рјешење)

4. БАЗНА МАШИНА - ЦЈЕВОПОЛАГАЧ

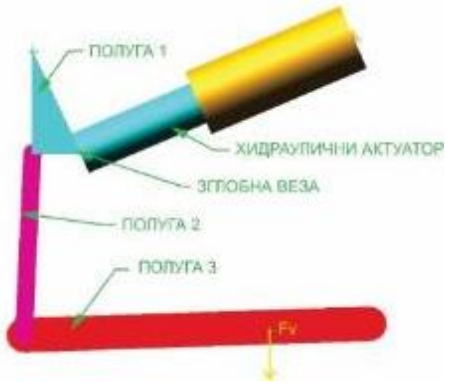
Цјевополагачи (самоходне дизалице са бочним краном) спадају у групу машина за путно – колосјечне радове те се могу користи и за дизаличне радове али и за помјерање трасе транспортера, колосјека, помјерања погонских станица и остале опреме по површинским коповима. На цјевополагач, при помјерању транспортера са траком, дјелују три силе:

- F_{h1} – хоризонтална попречна сила управна на правац транспортера (са њом уређај за помјерање вуче транспортер савлађујући главне отпоре трења дијела транспортера који се помјера);
- F_{h2} – хоризонтална подужна сила, дјелује у правцу премјештања криве S (потиче од чврстоће шине и цијелог састава постројења, дјелује супротно смјеру кретања цјевополагача), а настаје као резултат деформације шине на мјесту савијања;
- F_v – вертикална сила условљена тежином трасе тракастог транспортера и дјелује у правцу куке крана.

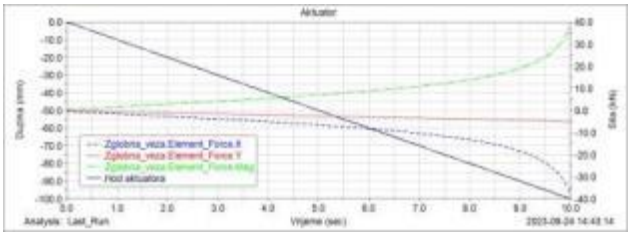
5. АНАЛИЗА СИЛА КОЈЕ ДЈЕЛУЈУ НА МЕХАНИЗАМ

С обзиром на дозвољено вертикално оптерећење постојеће изведбе уређаја за помјерање од 150 kN, приликом разрађивања пројекта модификације одлучило се за обавезну анализу сила помоћу софтверског пакета *Msc Adams*. Анализа сила у новом склопу извршена је због измјене полужног механизма како би се могла извршити монтажа и димензионисање хидрауличног актуатора.

На позицију полуге 3, слика 3, а на којој у пракси долази до оптерећења точка, уведена је компонента вертикалне силе F_v у вриједности од 37,5 kN, што износи четвртину максималног допуштеног оптерећења (150 kN) уређаја за помјерање. Сила је уведена тако да се њен правац и смијер не мијења са промјеном положаја полужног механизма и да прати задану тачку на полузи 3.



Слика 3. Полужни механизам новог конструкционог рјешења уређаја за помјерање



Слика 4. Резултати оптерећења полужног механизма заданом силом

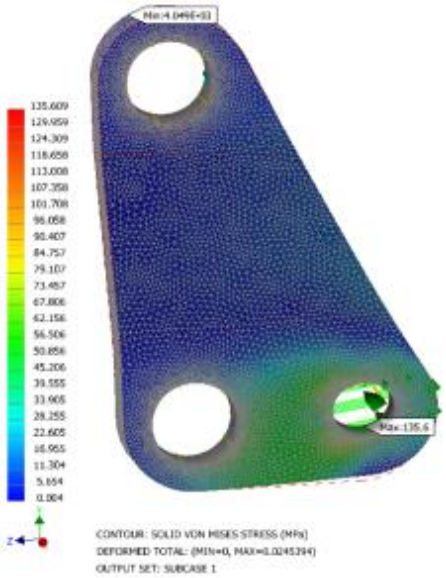
Претпоставка је да ће сва четири точка уређаја за помјерање примити једнако оптерећење. Накнадном анализом и практичним искуствима, склоп би издржао и много веће оптерећење а да не би дошло до помјерања хидрауличног актуатора с обзиром на прекорачену вриједност притиска која би се створила у њему. Анализа сила у наведеном софтверу је послужила за провјеру полуге 1 методом коначних елемената. У резултатима приказаним на слици 4 уочава се очекивано повећање компоненте силе у хоризонталном и вертикалном правцу као и суме сила које дјелују на склоп хидрауличног актуатора. Ход актуатора одговара пројектованом ходу од 99 mm.

6. АНАЛИЗА ПОЛУГЕ МЕТОДОМ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

С обзиром на то да су постојеће полуге ознака 2 и 3 (слика 3.) задржане у новом конструкционом рјешењу, приступило се анализи полуге 1 помоћу методе коначних елемената у софтверском пакету *Autodesk Inventor* и његовом модулу *Inventor Nastran*. Битно је напоменути да полуга 1 не учествује у вези оквира уређаја за помјерање и шине, већ само као полуга хидрауличног актуатора, чије је једина намјена пренос кретања са клипњаче актуатора на полужни механизам. Анализа је извршена са највећим силама добијених анализом у претходном поглављу и то:

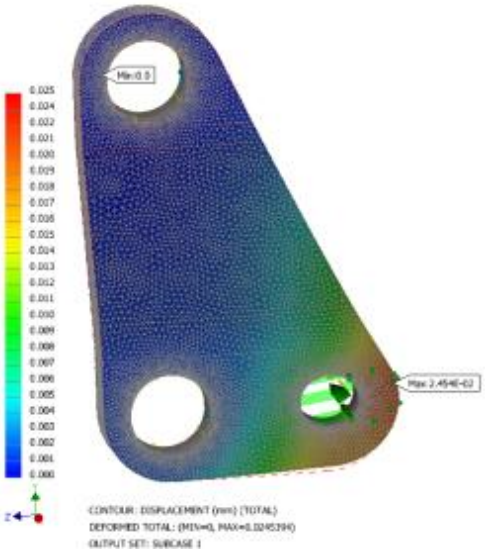
- сила у X правцу: 0 N;
- сила у Y правцу: 5300 N;
- сила у Z правцу: -37000 N.

Сила је уведена на мјесто осовинице која повезује клипњачу актуатора и саме полуге. Гранични услови су дати у складу са реалним кретањима ове полуге у њеној равни. Извршено је подешавање величине коначних елемената на 2 mm, те величине елемената локалног умрежења на 0,5 mm. Локална умрежења су дефинисана на отворима у које се постављају осовинице. Анализом напонског стања полуге добијени су велики напони у појединим зонама (али ни приближно не долазе до вриједности затезне чврстоће материјала конструкционог челика C355JP), слика 5.



Слика 5. Приказ напонског стања полуге

Велики напони се налазе у зони отвора и локалног су карактера. Анализом напона полуге долази се до просјечне вриједности до 70 MPa, што не представља значајно оптерећење.

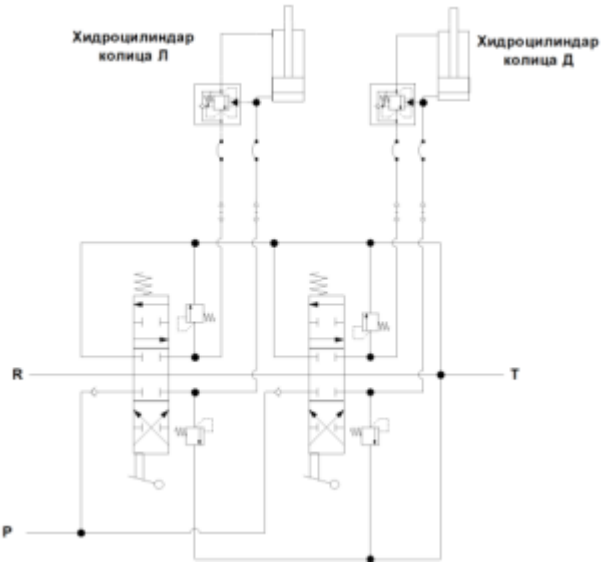


Слика 6. Тотална деформација полуге

Анализом резултата помјерања, слика 6, утврђено је да су иста веома мала. Битно је за напоменути да је полуга предимензионисана, а својом конструкцијом је направљена тако да зависи од силе коју може развити хидраулични актуатор. С обзиром на модификовану хидрауличну шему која је приказана у наставку рада, као и заштитне хидрауличне компоненте цилиндра, вриједност напона и помјерања добијених методом коначних елемената не нарушавају стабилност полужног механизма, односно задовољавају своју намјену према пројектованом рјешењу.

7. ХИДРАУЛИЧНИ СИСТЕМ

Поред модификације уређаја за помјерање додавањем хидрауличног актуатора и припадајућег полужног механизма, у виљу омогућавања кретања хидрауличног актуатора, приступило се и модификацији хидрауличног система цјевополагача. Пројекат је изведен у циљу што мањих трошкова, поготово при модификацији постојећег хидрауличног разводника који има шест излаза, а потребно је направити рјешење са 10 излаза. С обзиром на то да се не мијењају параметри хидрауличног система, већ се само додају 2 актуатора, није било потребно вршити прорачунавање параметара брзине или времена помјерања. Итеративним поступком одабран је цилиндар унутрашњег пречника 63 mm, клипњача пречника 25 mm, радни ход актуатора износи 99 mm, који при радном притиску уља од 200 bar развија силу од 52,5 kN са стране клипњаче, што је и више него довољно за савлађивање оптерећења од 37,5 kN .

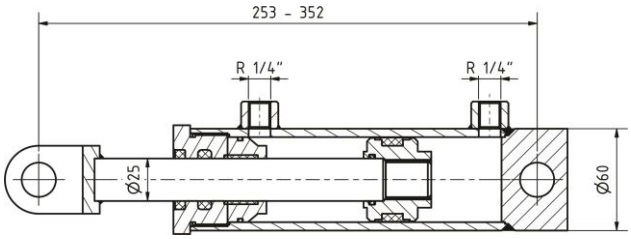


Слика 7. Дио разводника и извршних органа који је додат на постојећу хидрауличну шему цјевополагача

Хидраулични актуатор приликом рада уређаја за помјерање ће у већини случајева мировати, због чега је потребно да у сваком тренутку задржи задани положај. То се остварује употребом вентила за контролу кретања (енг. *Counterbalance valve*), који дозвољава слободан проток уља у хидроцилиндар и блокаду протока уља у супротном смјеру, све док не добије „сигнал“ односно притисак у пилотној линији или у случају када дође до пораста оптерећења за 1,3 х номиналног притиска. Вентили за контролу кретања могу се користити на страни клипа, на страни клипњаче и комбиновано. У овом случају потребно је контролисати кретање само на страни клипњаче (једноструко блокирајући вентил). Пожељно је да вентил за контролу кретања буде монтиран изравно

на цилиндар (цијевна или прирубничка веза) због могућности пуцања цријева (у овом случају на страни клипњаче), док се пилотни притисак искључиво доводи помоћу челичне бешавне цијеви.

Како би се извршило блокирање клипњаче у заузетом положају, а при употреби разводника који у неутралном положају блокира оба вода ка хидроцилиндру (што стандардна употреба вентила за контролу кретања не дозвољава јер нема вод у који може растеретити притисак), употријебиће се CC тип вентила произвођача *Bosch Rexroth* за контролу кретања, који представља специјалну изведбу у односу на стандардне. У случају повећања притиска његова изведба омогућава растерећење без обзира на притисак у воду између њега и разводника и то без повећања притиска у истом и без испуштања радне материје у атмосферу.



Слика 8. Габаритне и прикључне димензије хидрауличног актуатора

8. ЗАКЉУЧАК

У овом раду обрађен је пројекат модификације уређаја за помјерање тракастих транспортера на површинским коповима компаније „ЕФТ Рудник и Термоелектрана“ Станари, Босна и Херцеговина. У раду је такође описан процес модификације постојећег хидрауличног система базне машине – цјевополагача помоћу програмског пакета *Automation Studio*, анализа полужног механизма помоћу програмског пакета *Msc Adams*, да би се добили улазни подаци код пројектовања хидрауличног актуатора, као и анализе полуге методом коначних елемената у програму *Autodesk Inventor Nastran*.
Специфичност овог рада поред осталог је и приказ свих релевантних оптерећења која дјелују на један уређај, а које су неопходне при пројектовању уређаја (од самог почетка па до краја процеса пројектовања), приказ услова који утичу на та оптерећења као и правци будућег развоја оваквих уређаја. Постоји широк простор за додатна унапређења који се могу имплементирати у процес помјерања тракастих транспортера на површинским коповима, а у циљу повећања прецизности помјерања, брзине процеса помјерања (самим тим смањење укупног времена застоја система због помјерања), продужавања вијека трајања свих уређаја који учествују у помјерању, као и продужавање радног вијека тракастог транспортера. У будућности се може очекивати примјена аутономних система управљања и оптимизација радних параметара система као и конструкционих параметара самог уређаја за помјерање, што ће аутоматски довести и до смањених трошкова и времена застоја технолошког система, уз могућност аутоматског генерисања извјештаја помјерања и стања уређаја.

9. ЛИТЕРАТУРА

[1] Игњатовић Д., Шубарановић Т., Ђенадић С., 2021. Машине и помоћни радови на површинским коповима, Универзитет у Београду, Рударско – геолошки факултет, Београд.

[2] ТТУ Тузла - Упутство за руковање и одржавање: Уређај за помјерање, 2011. Тузла.

[3] Ritter R., Herzog A,. & Drebenstedt C., „Automated dozer consept aims to cut IPCC downtime“, Engineering & Mining Journal, November 2014.,56-59.

[4]www.takraf.com/product/shifting-heads/ приступљено дана (10.10.2023.).

[5] Dzakpata I.K., 2020. Time Utilisation Modelling of Fully Mobile In-Pit Crushing and Conveying Systems, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Queenslannd, School of Mechanical and Mining Engineering.

[6] Савић В., Уљна хидраулика – Хидрауличне компоненте и системи, Дом штампе, Зеница.

[7] Радионички приручници произвођача Dressta, Caterpillar, Komatsu.

[8] Техничка упутства компанија Bosch Rexroth, Parker Hannifin, Sauer Danfoss и Contarini.

[9] Интерна радионичка документација компаније „ЕФТ Рудник и Термоелектрана“ Станари.

Кратка биографија:

Милош Ђукић рођен је у Добоју, Босна и Херцеговина/Република Српска, 1995. год. Дипломирао је 2018. године на Факултету техничких наука, смер Механизација и конструкционо машинство, на којем исте године уписује мастер студије, смер Машинске конструкције, транспортни системи и логистика.

Драган Живанић рођен у Сремској Митровици 1972. год. Докторирао 2012. год, изабран у звање доцента 2014. год. а 2019. у звање ванредног професора на Факултету техничких наука у Новом Саду.

Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

UDK: 62:004.896(035)
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM10Josic

СТАТИЧКО ИСПИТИВАЊЕ И ВЕРИФИКАЦИЈА ПРИМЕНОМ МКЕ СТАЗЕ МОДЕЛА МОСНЕ ДИЗАЛИЦЕ

STATIC TESTING AND FEA EVALUATION OF THE MODEL CRANE RUNWAY

Дарио Јошић, Никола Иланковић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – *Овај рад приказује поступак инжењерске анализе датог проблема која се састоји од теоријске и експерименталне анализе. Предмет разматрања је понашање конструкције стазе модела мосне дизалице. Урађена су испитивања у виду мерења напона под одређеним условима и резултати истих су упоређени са претходно добијеним резултатима из софтвера.*

Кључне речи: *модел мосне дизалице, МКЕ верификација, стаза дизалице, Autodesk Inventor Nastran*

Abstract – *This paper presents the procedure of engineering analysis of the given problem, which consists of theoretical and experimental analysis. The subject of consideration is the behavior of the bridge crane model runway structure. Tests were performed with strain gauges under certain conditions and the results were compared with previously obtained results from FEA.*

Keywords: *overhead crane model, FEA evaluation, crane runway, Autodesk Inventor Nastran*

1. УВОД

Задатак овог рада је статичко испитивање и верификација применом МКЕ (метода коначних елемената) стазе модела двогредне мосне дизалице, која се налази у Лабораторији за машинске конструкције, транспортне системе и грађевинске машине Факултета техничких наука у Новом Саду. Дизалица је израђена у размери 1:10, по угледу на постојећу дизалицу и приказана је на слици 1.

Првобитна изведба модела дизалице није имала одговарајућу стазу, погоне кретања и дизања, нити одговарајуће управљање. Студентским ангажовањем и доприносом, кроз већи број завршних радова, модел дизалице је модернизован са одређеним модификацијама, попут израде адекватне стазе за кретање, погона кретања и дизања, електро-командног ормана са пратећом опремом. Носивост модела дизалице износи 320 kg.

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

2. ПРЕГЛЕД ИСПИТИВАЊА МОДЕЛА ДИЗАЛИЦА

У овом поглављу приказани су примери модела и спроведених испитивања мосних дизалица. На слици 2 приказан је модел испитне носеће конструкције дизалице Универзитета у Зеници, БиХ.

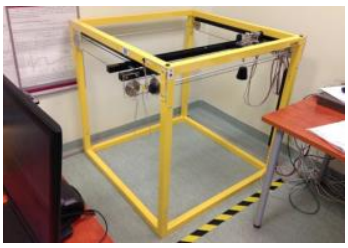
Недостатак носеће конструкције јесте то што је израђена на основу приближних прорачуна и процена носивости.

Слика 1. Лабораторијски модел дизалице и дизаличке стазе [1]

Слика 2. Модел испитне носеће конструкције дизалице Универзитета у Зеници, БиХ [2]

На слици 3 приказан је лабораторијски модел мосне дизалице Универзитета у Талину, Литванија [3]. У раду [3] описан је начин управљања мосних дизалица, без употребе сензора.

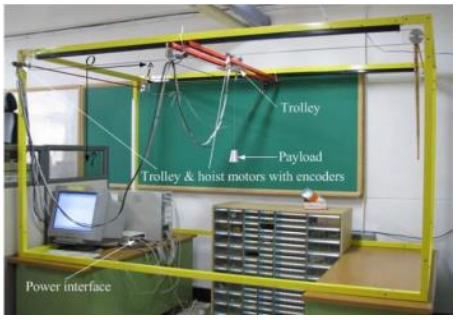
Недостатак модела је конструкција, која не одговара стварним изведбама, а на управљање дизалицом у великој мери утичу динамичка оптерећења покретних делова.



Слика 3. Модел мосне дизалице Универзитета технологије у Талину, Литванија [3]

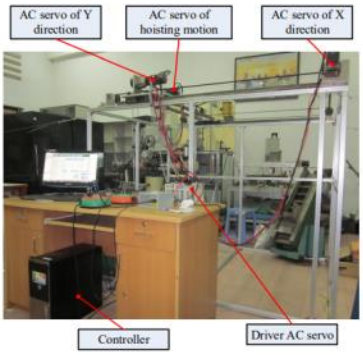
Слика 4. Модел портална дизалице факултета информационих технологија и система, Холандија [2]

На слици 5 налази се модел контејнерске дизалице који је развијен у лабораторији Универзитета у Бусану, ради тестирања ефикасности задатих управљачких величина. Недостатак је неодговарајућа конструкција стазе дизалице.



Слика 5. Модел контејнерске дизалице Универзитета у Бусану, Јужна Кореја [4]

У часописима су присутни многи радови на тему динамичког понашања мосних дизалица. На слици 6 приказан је лабораторијски модел мосне дизалице техничког факултета у Хо Чи Мин-у, Вијетнам. Развијен је математички модел који описује нелинеарно понашање дизалице, услед истовременог подизања и њихања терета, а потом је исти поређен са извршеним мерењима. На основу тих резултата, предложен је контролер који би био уграђен ради смањења њихања терета.

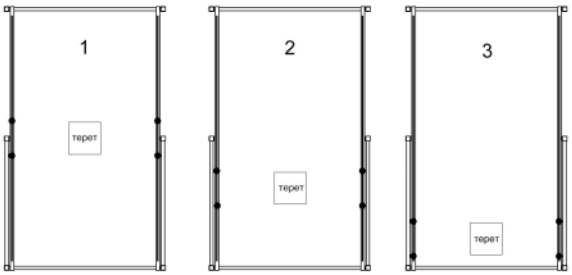


Слика 6. Модел мосне дизалице техничког факултета у Хо Чи Мин-у, Вијетнам [5]

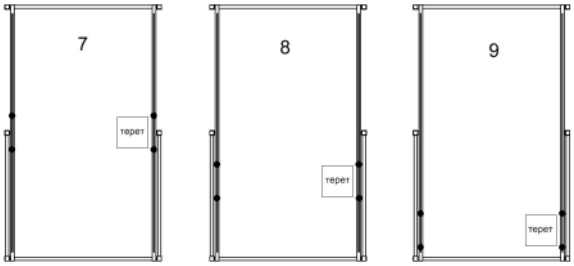
Сагледавањем приказаних модела дизалица, може се закључити да лабораторијски модел стазе и мосне дизалице у лабораторији Факултета техничких наука у Новом Сад представља репрезентативан пример моделске сличности са постојећом дизалицом. Узимајући у обзир да тренутно није доступно много радова везаних за статичко испитивање модела дизалица, искоришћена је прилика да се то подручје допуни овим радом.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА

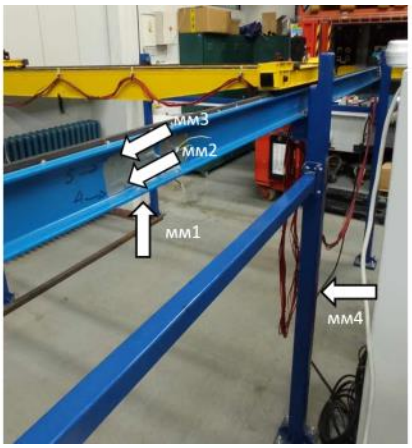
За извођење експеримента, потребно је поставити мерне траке на одговарајуће положаје на конструкцији стазе, повезати их са мерним системом, лоцирати тег масе 235 kg, у један од приказаних положаја на сликама 7 и 8, а затим измерити напоне. На слици 9 приказана су мерна места – на средини растојања између вертикалних ослонаца „I“ профила и на доњем појасу „I“ профила, затим на средини вертикалне квадратне цеви – ослонца. За испитивање конструкције коришћен је *Spider 8* мерни систем и софтвер *Catman Professional.*



Слика 7. Положај терета у случају симетричне расподеле оптерећења



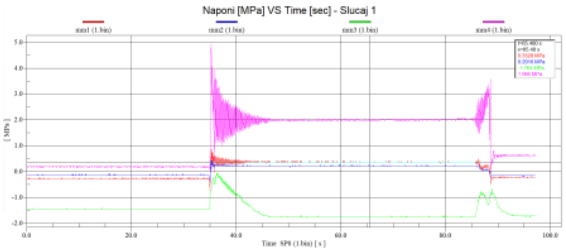
Слика 8. Положај терета у случају асиметричне расподеле оптерећења, десни положај



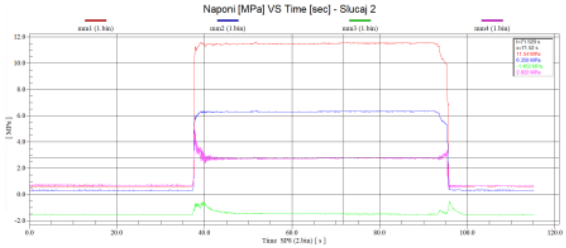
Слика 9. Мерна места

3.1. Резултати експеримента

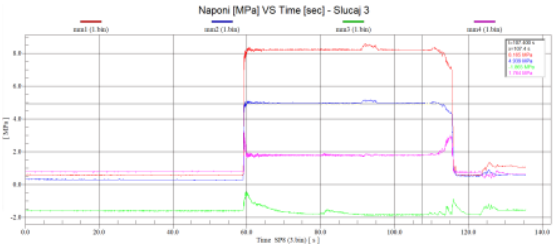
Након завршеног мерења, формирани су графици са приказаним резултатима мерења из софтвера, укупно 6 за свих 6 положаја. На сликама 10-15 налазе се графици за измерене вредности напона при положају са слика 7 и 8.



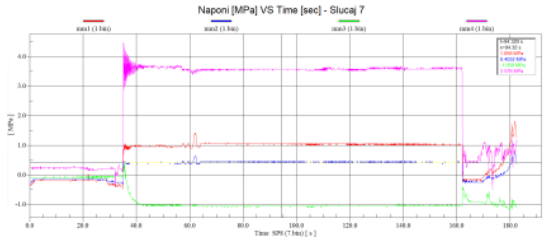
Слика 10. Резултати мерења при положају 1



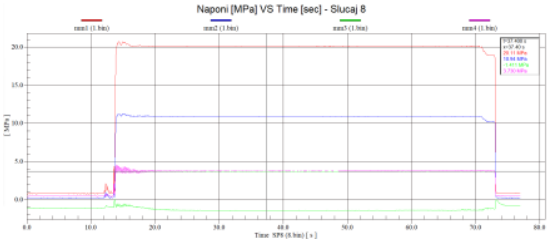
Слика 11. Резултати мерења при положају 2



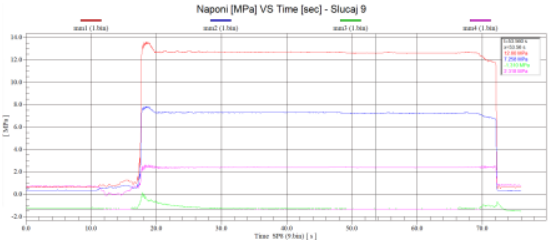
Слика 12. Резултати мерења при положају 3



Слика 13. Резултати мерења при положају 7



Слика 14. Резултати мерења при положају 8



Слика 15. Резултати мерења при положају 9

4. ВЕРИФИКАЦИЈА РЕЗУЛТАТА ПРИМЕНОМ МКЕ

Верификација добијених експерименталних резултата путем методе коначних елемената, извршена је у софтверском пакету *Autodesk Inventor Nastran.* У софтверу су формирани модели са површинским и запреминским идеализацијама. Површински модел је формиран од средишњих равни профила, док се запремински састојао од запреминских елемената.

4.1 Дефинисање вредности оптерећења у софтверу

У случају симетричне расподеле оптерећења, сила се преноси са једнаком вредношћу на сва 4 точка дизалице, према изразу 1, док се у случају несиметричне расподеле оптерећења преносе према изразима 2 и 3 и износи:

$$F = (235 + 30) \cdot 9{,}81 = \frac{2560\text{N}}{4\ \text{точка}} = 640\ \text{N} \quad (1)$$

$$F = (250 + 30) \cdot 9{,}81 = 2560 \cdot 0{,}9 = \frac{2304\text{N}}{2\ \text{точка}} = \quad (2)$$

1152 N по точку, једна страна стазе

$$2560 - 2304 = \frac{256}{2} = 128\ \text{N}\ \text{ по точку, друга страна стазе} \quad (3)$$

4.2. Упоредни приказ резултата

Табеларни приказ добијених вредности напона на мерним местима из софтвера, за свих 6 случајева оптерећења, налази се у табелама бр. 1-6, као и добијени резултатима из експеримента, ради прегледности.

Табела 1. Очитане вредности напона код положаја 1

Симетрична расподела оптерећења, положај 1

	Очитани напон [MPa]			
	мерно место 1	мерно место 2	мерно место 3	мерно место 4
Модел површински	0,8	1,1	0,7	1,9
Модел запремински	0,9	0,4	0,5	2,5
Мерење	0,4	0,2	1,8	1,9

Табела 2. Очитане вредности напона код положаја 2

Симетрична расподела оптерећења, положај 2

	Очитани напон [MPa]			
	мерно место 1	мерно место 2	мерно место 3	мерно место 4
Модел површински	8	4,5	2,5	1,6
Модел запремински	10	5,6	1,9	2,2
Мерење	11,5	6,4	1,5	2,8

Табела 3. Очитане вредности напона код положаја 3

Симетрична расподела оптерећења, положај 3

	Очитани напон [MPa]			
	мерно место 1	мерно место 2	мерно место 3	мерно место 4
Модел површински	6,8	4,3	4	1,3
Модел запремински	4,7	3,1	2,3	1,4
Мерење	8,2	4,9	1,9	1,8

Табела 4. Очитане вредности напона код положаја 7

Симетрична расподела оптерећења, положај 7

	Очитани напон [MPa]			
	мерно место 1	мерно место 2	мерно место 3	мерно место 4
Модел површински	1,6	1,1	0,5	3
Модел запремински	1,4	0,7	0.8	5,1
Мерење	1,1	0,4	1,1	3,6

Табела 5. Очитане вредности напона код положаја 8

Симетрична расподела оптерећења, положај 8

	Очитани напон [MPa]			
	мерно место 1	мерно место 2	мерно место 3	мерно место 4
Модел површински	15	9	4	3,6
Модел запремински	21	11,5	6,2	4,5
Мерење	20,1	11	1,4	3,7

Табела 6. Очитане вредности напона код положаја 9

Симетрична расподела оптерећења, положај 9

	Очитани напон [MPa]			
	мерно место 1	мерно место 2	мерно место 3	мерно место 4
Модел површински	12,3	6,8	3,3	2,2
Модел запремински	11	7,3	4,6	2,6
Мерење	12,6	7,2	1,3	2,3

5 ЗАКЉУЧАК

Овај рад приказује процедуру и резултате статичког испитивања конструкције стазе модела мосне дизалице у Лабораторији за машинске конструкције, транспортне системе и грађевинске машине ФТН-а у Новом Саду. Статичко испитивање је спроведено уз помоћ мерног система *Spider 8* и софтверског пакета *Catman Professional*, док је верификација, применом МКЕ на формираном рачунарском моделу, урађена уз помоћ софтвера *Autodesk Inventor Nastran*.

Поједностављења која су присутна код површинског и запреминског рачунарског модела формираног у софтверу донекле искривљују реалну слику, па тако описан математички модел увек одступа од стварног објекта који се истражује.

Поређењем резултата вредности напона добијених путем експеримента и очитаних резултата из софтвера, могу се утврдити блага одступања у резултатима, која су прихватљива.

Рад представља заокружени поступак инжењерске анализе која се састоји од теоријске и експерименталне анализе. Овакав приступ инжењерској анализи представља идеалан ток истраживања, како у привреди, тако и у научно-истраживачким установама.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Тепавац „Унапређење лабораторијског модела мосне дизалице уградњом електромоторних погона дизања и кретања“, Нови Сад, 2019

[2] С. Савић „Пројекат носеће конструкција шинске стазе лабораторијског модела мосне дизалице“, Нови Сад, 2021

[3] A. Aksjonov, V. Vodovozov and E. Petlenkov, “Sensorless control of the three-dimensional crane using the Euler Lagrange approach with a built-in state-spaee model”, Proceedings of 56th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga (Latvia), pp. 1-4, DOI: 10.1109/RTUCON.2015.7343138, (2015)

[4] Q. C. Nguyen, H. Q. Le and K. Hong, “Improving control performance of a container crane using adaptive friction compensation”, Proceedings of the 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014), Gyeonggi-do, (S. Korea), pp.157-162, DOI: 10.1109/ICCAS.2014.6987978, (2014)

[5] A. H. Vo, Q. T. Truong, H.-Q.-T. Ngo, Q. C. Nguyen, “Nonlinear tracking control of a 3D overhead crane with friction and payload compensations”, Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, Vietnam, pp 27-34, DOI: 10.14203/J.MEV.2016.V7. (2016)

Кратка биографија:

Дарио Јошић рођен је у Сомбору 1997.год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинство – Машинске конструкције, транспорт системи и логистика одбранио је 2023. год. контакт: dariojoosic@gmail.com

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

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 004.92:62
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM11Tomic

PRIMENA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA KOD REDIZAJNA NOSAČA TRAČNE TESTERE ZA METAL

APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING IN THE REDESIGN OF THE METAL BAND SAW STAND

Dragan Tomić, Mario Šokac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – *U okviru ovog rada izvršen je redizajn nosača tračne testere. Izvršeno je 3D skeniranje primenom 3D skenera „EinScan Pro 2X“ baziranog na strukturiranoj svetlosti. Posle 3D skeniranja izvršeno je modeliranje nosača sa ciljem dobijanja njegovog CAD modela. Alat CAD inspekcije je takođe primenjen sa ciljem verifikacije modeliranog CAD modela. Nakon ovoga je izvršen redizajn nosača alata. Takođe je sprovedena strukturna analiza sa ciljem verifikacije nosivosti redizajniranog i ojačanog nosača alata, kao i njegove praktične primene.*

Ključne reči: *Redizajn, 3D skeniranje, Reverzibilno inženjerstvo, Nosač alata*

Abstract - *As part of this master's work, the band saw stand was redesigned. A 3D scan was performed using a 3D scanner "EinScan Pro 2X" based on structured light. After the 3D scanning, the stand was modeled with the aim of obtaining its CAD model. A CAD inspection tool was also applied to verify the modeled CAD model. After this, the tool stand was redesigned. Structured analysis was also carried out with the aim of verifying the load capacity of the redesigned and reinforced tool stand, as well as its practical application.*

Keywords: *Redesign, 3D scanning, Reverse engineering, Metal band saw stand*

1. UVOD

Reverzibilno inženjerstvo (eng. *reverse engineering - RE*) može da se definiše, u mašinstvu, kao proces dupliranja nekog proizvoda bez tehničke dokumentacije, dok u širem smislu može predstavljati analizu nekog uređaja ili sistema, način na koji on funkcioniše kao i proučavanje tehnologija koje su primenjene u kreiranju originalnog proizvoda [1].

Reverzibilno inženjerstvo se danas može primeniti kod kreiranja kako komercijalnih delova visoke vrednosti za poslovni profit, tako i za delove kulturnog nasleđa za istorijsku restauraciju. Da bi izvršio ovaj zadatak, inženjeru je potrebno razumevanje funkcionalnosti originalnog dela i veština da replicira njegove karakteristične detalje. U oblastima mašinstva i industrijske proizvodnje, reverzibilno inženjerstvo se odnosi na način kreiranja podataka o inženjerskom projektu i dokumentaciji od postojećih delova i njihovih sklopova. U pristupu reverzibilnog inženjerstva stvarni delovi se transformišu u inženjerske 3D (trodimenzionalne) modele i koncepte. Reverzibilno inženjerstvo ima veoma uobičajenu oblast širokog spektra kao što su mašinstvo, softversko inženjerstvo, industrija animacije/zabave, mikročipovi, hemijska industrija, elektronika, farmaceutski proizvodi itd [2]. Fokusiranje na domen mašinskog inženjerstva, kroz primenu tehnika reverzibilnog inženjerstva postojeći deo se ponovo rekonstruiše prikupljanjem podataka o površini ili geometrijskim karakteristikama upotrebom kontaktnih ili beskontaktnih uređaja za 3D digitalizaciju ili merenje. Primenom reverzibilnog inženjerstva, kreiranje proizvoda koristi prednosti široke upotrebe CAD/CAM/CAE sistema, i očigledno pruža ogromnu dobit u poboljšanju kvaliteta, svojstava materijala, efikasnosti ponovnog dizajna, proizvodnje i analize. Stoga, reverzibilno inženjerstvo ide sa značajnim poslovnim prednostima u skraćivanju ciklusa razvoja proizvoda [1].

2. ULOGA I ZNAČAJ REVERZIBILNOG INŽENJERSKOG MODELIRANJA I 3D DIGITALIZACIJE

Postoji mnogo tipova 3D skenera i tehnologija 3D skeniranja. Neki su idealni za skeniranje kratkog dometa, dok su drugi pogodniji za skeniranje srednjeg ili dugog dometa. Danas se koristi širok spektar 3D skenera i tehnologija 3D skeniranja, što omogućava inženjerima da izaberu najbolju tehnologiju 3D skeniranja, ili čak i kombinaciju više tehnika sa ciljem dobijanja boljih rezultata [3].

3D skeniranje sa strukturiranim svetlom funkcioniše na drugačijem principu od laserskog skeniranja. Sa ovom tehnologijom, uređaj projektuje kodirane binarne paterne (trake) svetlosti na površinu skeniranog objekta. Ove trake su obično skupovi paralelnih linija. Kao i kod drugih tehnologija 3D skeniranja, skeniranje strukturiranom svetlošću koristi jednu ili više kamera koje se nalaze na maloj udaljenosti od izvora svetlosti. Uloga kamere je da uhvati projektovane svetlosne šablone kako se projektuju na površinu skeniranog objekta: sočivo kamere će videti skupove linija kao deformisane (istegnute, proširene, savijene, bliže ili dalje odvojene, itd.) u zavisnosti od oblika površine predmeta. Koristeći niz proračuna, 3D skener može da koristi deformisane linije svetlosti da odredi lokaciju, veličinu i oblik skeniranog 3D objekta.

Izvor svetlosti kod strukturiranih 3D skenera je obično bele boje ili se koristi plava svetlost (LED svetlo), pošto

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Mario Šokac.

se sa ovom vrstom svetlosti možgu postići bolji rezultati i ostvariti visok nivo tačnosti. 3D skeneri bazirani na strukturiranoj svetlosti uglavnom nemaju sisteme za praćenje, već umesto toga koriste tzv. kodirane markere na skeniranom objektu koji „pomažu“ softveru da prepozna gde se različiti snimci preklapaju, kao i da tačno odredi poziciju 3D skenera u prostoru u odnosu na objekat koji se digitalizuje.

Strukturirani ručni 3D skeneri su danas veoma rasprostranjeni i raznovrsni, a neki modeli poput *Shining 3D EinScan Pro HD* mogu da ponude i 3D skeniranje u boji, što otvara brojne mogućnosti. Međutim, strukturirani svetlosni skeneri se ne preporučuju za primenu u svetlim okruženjima, usled toga što kamera može imati problema da prepozna kodirane binarne paterne usled postojanja drugih izvora svetlosti. Strukturirani svetlosni skeneri mogu biti montirani na stativ (stacionarni) ili ručni [4].

3. ULOGA I ZNAČAJ METODA ZA DIMENZIONALNU I STRUKTURNU ANALIZU U OBLASTI MAŠINSKOG INŽENJERSTVA

Sa razvojem nauke i tehnologije u oblasti mašinstva, dolazi do pojave proizvoda sa složenom geometrijom. Uporedo su se razvijale i metode za analize i inspekcije istih, počevši od konvencionalnih koje su postajale ograničavajući faktor kod razvoja ovih proizvoda (jer nisu mogle da odgovore na zahteve koji su se pred njih postavljali), do pojave savremenih alata inspekcija, kao odgovor na zahteve savremene proizvodnje. Zahtevi tržišta vezani za estetiku, ergonomiju i aerodinamiku nameću primenu složenih površina. Ove površine se ne mogu opisati standardnim geometrijskim karakteristikama, već uglavnom preko grupe 3D tačaka ili matematički opisanih krivih. Ubrzo nakon pojave CAD modela pojavila se ideja za iskorištavanjem najpre određenih parametara, a zatim i ukupnih modela za potrebe inspekcije i analize. Ova vrsta inspekcije proizvoda, zasnovana na CAD modelu, je ubrzo postala poznata pod nazivom CAD inspekcija [5].

Pod CAD inspekcijom se podrazumeva korišćenje CAD modela proizvoda, tj. njegovih parametara, sa ciljem provere geometrijskih i dimenzionalnih odstupanja. CAD inspekcija je, prateći razvoj CAD modeliranja, najpre bila zasnovana na 2D podacima, da bi se zatim sa pojavom čvrstog (zapreminskog) modela razvila u 3D CAD inspekciju, danas poznata i pod nazivom “*CAD-to-start”* inspekcija. Ovaj vid inspekcije podrazumeva proveru odstupanja geometrije realnog proizvoda (na bazi njegovog digitalizovanog 3D modela) od nominalne geometrije koja je definisana CAD modelom [5].

Metod konačnih elemenata (MKE) *(*eng. *Finite Element Method - FEM*) predstavlja numerički postupak za približno rešenje graničnih i početnih zadataka, odnosno običnih ili parcijalnih diferencijalnih jednačina sa datim graničnim i početnim uslovima.

Metoda konačnih elemenata je koristan alat za analizu proizvoda za različite vrste mehaničkih opterećenja, a sve u cilju izrade pouzdanijih i dugotrajnijih proizvoda. Ovaj metod predstavlja postupak matematičkog rešenja inženjerskih problema i problema matematičke fizike, a danas ga koriste inženjeri iz različitih oblasti industrije [6].

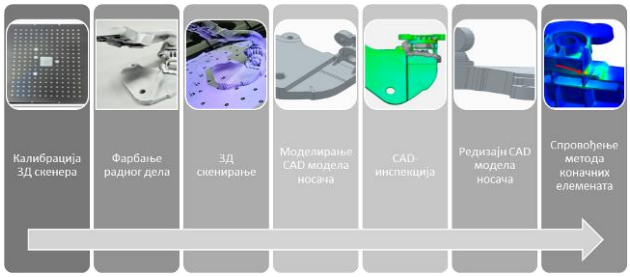
4. REVERZIBILNI INŽENJERING REDIZAJN I ANALIZA NOSAČA TRAČNE TESTERE ZA METAL

U okviru ovog poglavlja prikazan je proces 3D digitalizacije nosača tračne testere primenom 3D skenera baziranog na strukturiranoj svetlosti *Einscan Pro 2X*, proizvođača *Shining3D*, a zatim i njegovog modeliranja i redizajna sa ciljem njegovog poboljšanja. Nakon redizajna nosača sprovedena je analiza primenom MKE osnovnog i ojačanog nosača sa ciljem njihove međusobne analize.

Na postojećem postolju nosača tračne testere, došlo je do loma nosača usled, najverovatnije, njegovog neadekvatnog dizajna jer je uloga ovog nosača jeste da treba da nosi celu konstrukciju tračne testere prilikom njene upotrebe. Na slici 1 prikazan je nosač nakon postupka zavarivanja sa ciljem 3D digitalizacije, i kasnije i CAD modeliranja.

Slika 1. *Nosač tračne testere za metal nakon zavarivanja*

Na slici 2 prikazan je algoritam toka rada koji prati ceo ovaj proces.

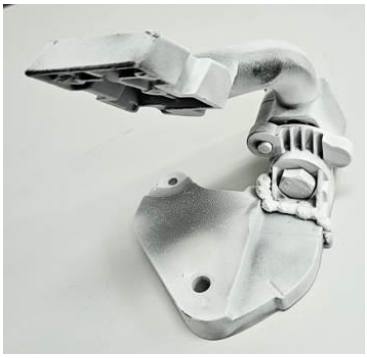


Slika 2. *Algoritam toka rada*

4.1 Kalibracija, farbanje predmeta i 3D skeniranje

Pre postupka 3D skeniranja neophodno je izvršiti kalibraciju 3D skenera. Postupak kalibracije se izvodi u ručnom režimu, i to na način gde se sa 3D skenerom ručno „prelazi“ preko kalibracione ploče na razdaljini od 400 mm. Sa ciljem dobijanja tačnijih rezultata izvršeno je 3D skeniranje u stacionarnom režimu sa postavljanjem 3D skenera na stalak/tripod i odgovarajući nosač.

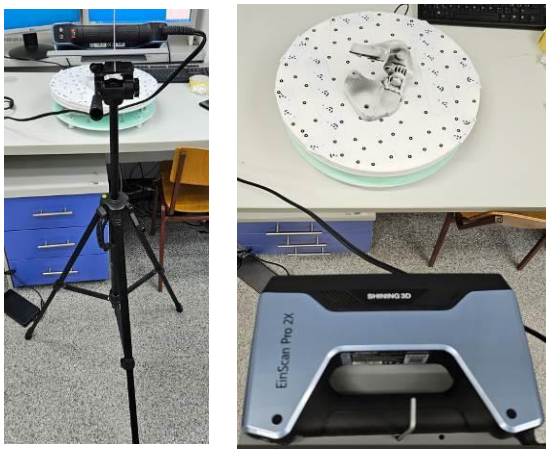
Sa ciljem redukcije uticaja površine objekta na rezultate 3D digitalizacije izvršeno je njegovo privremeno farbanje. Radni predmet je ofarban sa odgovarajućim sprejom u vidu belog praha koji se nanosi u takom sloju na predmet. Na ovaj način se neutrališu negativne karakteristike površine objekta i omogućava se lakše 3D skeniranje (Slika 3).



Slika 3. *Ofarban nosač alata pre postupka 3D skeniranja*

Prilikom 3D skeniranja spoljašnje geometrije napravljeno je ukupno 28 parcijalnih skenova. Nakon svakog prikupljenog parcijalnog skena, obrtni radni sto je rotiran za ~10 - 15^{o} gde je nakon toga izvršeno 3D skeniranje u toj poziciji.

Nakon ovoga se ceo postupak ponovo ponavlja dok se ne prikupe informacije o kompletnoj geometriji nosača alata. Na slici 4 je prikazan postupak 3D skeniranja nosača.



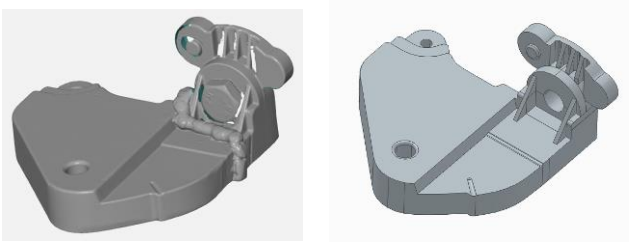
а) б)

Slika 4. *3D skeniranje sa 3D skenerom a) postavljenim na stalak i b) pogled od gore*

4.2 Modeliranje osnovnog CAD modela i sprovođenje CAD inspekcije

Nakon završenog 3D skeniranja pristupljeno je modeliranju osnovnog CAD modela na bazi digitalizovane geometrije nosača.

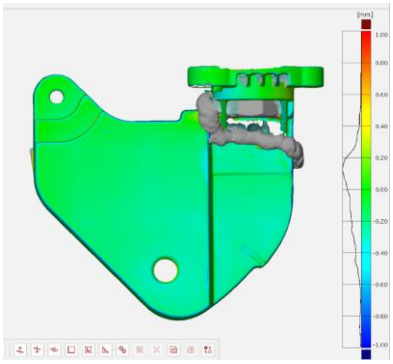
Na slici 5a prikazan je površinski 3D model nosača nakon 3D skeniranja, a na slici 5b jer prikazan izmodeliran osnovni CAD model nosača.



a) b)

Slika 5. *Skenirani 3D model nosača, i b) njegov CAD model*

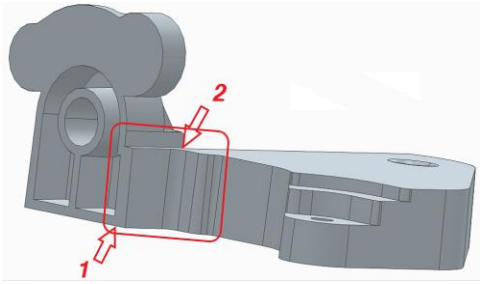
Nakon što je izvršeno modeliranje CAD modela originalnog nosača, sprovedena je CAD inspekcija sa cinjem utvrđivanja odsupanja geometrije CAD modela u odnosu na skeniranu geometriju nosača. Ovaj korak inspekcije je bio bitan sa ciljem utvrđivanja odstupanja modelirane geometrije u odnosu na skeniranu geometriju nosača, kako bi se moglo nastaviti sa daljim tokom rada (Slika 6).



Slika 6. *CAD Inspekcija nosača*

4.3 Redizajn CAD modela nosača alata

Uzimajući u obzir način i mesto na kojem je došlo do loma nosača, pristupljeno je njegovom redizajnu. Tokom ove faze vođeno je računa da se oblik nosača ne promeni usled njegove uloge. U skladu sa tim izvršeno je ojačanje određenih pozicija na CAD modelu nosača. Ojačane su pozicije broj 1 i 2 prikazane na slici 7. Za poziciju 1 je pojačana debljina zida nosača za 1,5 mm, a za poziciju 2. je ubačen radijus R=2 mm umesto oštre ivice koja je tu bila prisutna. Što se tiče donje strane nosača, rebra su takođe ojačana za dvostruko veću vrednost (koja iznosi 2 mm).



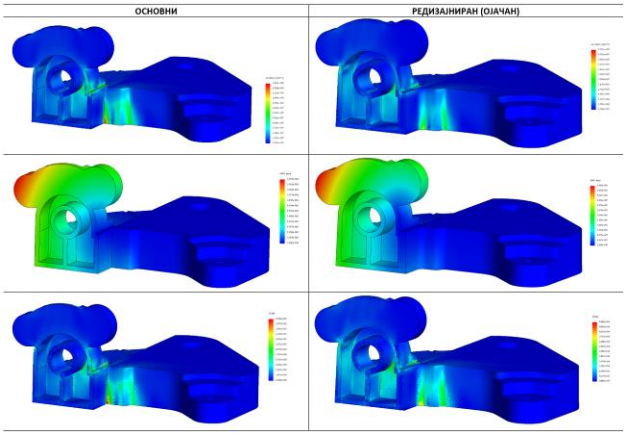
Slika 7. *Mesto ojačavanja nosača*

4.4 Strukturna analiza primenom metode konačnih elemenata

U okviru ovog dela izvršena je analiza metodom konačnih elemenata (MKE) osnovnog i redizajniranog (ojačanog) nosača. Za potrebe analize osnovnog i redizajniranog (ojačanog) nosača u ovoj analizi je korišćena analiza statičkog opterećenja. Radi sprovođenja adekvatne analize primenom MKE, potrebno je izabrati materijal od koga će nosač biti izrađen. Materijal je moguće izabrati iz unapred definisane baze podataka materijala, a u kojoj se nalaze materijali kao što su čelik, aluminijum, bakar, guma i razni plastični materijali.

Nakon definisanja svih ulazni parametara, pokreće se analiza gde se nakon završene analize dobija model sa obeleženim delovima na kojima je moguće doći do deformacije materijala. Analizirana su tri parametra, a to su:

- Totalna deformacija (Von Misses-ovi naponi);
- Izduženje (po X, Y, Z ili XYZ osi);
- Ekvivalentni napon.

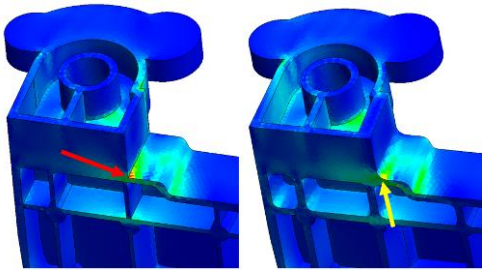


Slika 8. *Prikaz Von Mises-ovih napona, izduženja i ekvivalentnih napona za osnovni i redizajniran (ojačan) nosač*

Na Slici 8 može se videti raspored Von Misses-ovih napona na nosaču u vidu pojave deformacija. Gravitaciona sila kojom se deluje na nosač od strane testere je 150 Nm gde se na skali sa desne strane može uočiti, pored brojčanih vrednosti, i boja koja se menja u zavisnosti od intenziteta sile. Tako plava boja predstavlja mali intenzitet delovanja sile odnosno nema pojave napona, dok crvena boja predstavlja velik intenzitet delovanja sile za projektovani model i materijal koji se koristi, te postoji opasnost od deformacije i loma strukture i u skladu sa tim je bilo potrebno izvršiti redizajn nosača, što je i urađeno u okviru ovog master rada.

Na bazi analize MKE ustanovljeno je da u zoni prelaza sa tela na glavu nosača dolazi do pojave velikih napona u vidu crvene boje usled čega je i došlo do loma. Dok je kod redizajniranog (ojačanog) nosača došlo do smanjenja napona u toj zoni usled pojačanja debljine zida i dodavanja radijusa na tom mestu. Pojava napona je takođe evidentna i na rebrima za ojačanje sa donje strane nosača, a gde je njihova debljina povećana kod redizajnirane verzije nosača.

Kod napona, takođe je ustanovljeno da dolazi do značajnijeg ekvivalentnog napona u osnovnoj verziji nosača alata (Slika 9a). Dok je kod redizajniranog (ojačanog) nosača došlo do redukcije ekvivalentnog napona u toj zoni usled pojačanja debljine zida i dodavanja radijusa na tom mestu (slika 9b).



a) b)

Slika 9. *Komparativni prikaz ekvivalentnih napona kod a) osnovnog nosača (crvena strelica) i kod b) redizajniranog (ojačanog) nosača (žuta strelica)*

5. ZAKLJUČAK

U okviru ovog master rada je detaljno predstavljena primena reverzibilnog inženjerskog dizajna, inženjerskih analiza, kao i teorijski osvrt na tehnologiju 3D digitalizacije primenom metode bazirane na strukturnoj svetlosti.

U okviru ovog master rada predloženo je tehničko rešenje redizajna nosača tračne testere koje će se aktivno koristiti i dalje razvijati nakon njegove izrade. Takođe je predstavljena detaljna primena odgovarajućih softverskih alata uz pomoć kojih su modelirani svi elementi nosača tračne testere, urađena CAD inspekcija i na kraju urađena analiza MKE. Na osnovu izloženog može se doći do zaključka da je primena softverskih CAD alata koji su prezentovani u radu, moguće postići značajno skraćenje vremena potrebnog za dizajn ili redizajn nekog proizvoda. Primenom softvera u svrhu numeričke analize statičkih i drugih ograničenja mogu se pravovremeno uočiti kritične delovi elemenata sklopa, kao i mogućnost njihovog poboljšanja.

6. LITERATURA

[1] Prof. dr Miroslav Plančak, "Brza izrada prototipova, modela i alata", *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad* 2009.
[2] Šokac M., Budak I., Katić M., Jakovljević Ž., Santoši Ž., Vukelić Đ., "Improved surface extraction of multi- material components for single-source industrial X-ray computed tomography", *Measurement*, Vol. 153, 2020.
[3] Šokac M., Santoši Ž., Budak I., Car Z., Vukelić Đ., "Combination of contact and optical 3D digitizing methods for their application in reverse engineering", *8. International Conference on Innovative Technologies IN-TECH*, Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering, 11-13 September, 2017, pp. 65-68, ISBN 0184-9069.
[4] https://www.shining3d.com/blog/handheld-3d-scanner-light-sources-laser-lines-vs-structured-light-vs-infrared/ (pristupljeno 20.09.2023).
[5] Budak I.; Hodolič J., „Reverzibilno inženjerstvo i CAD-inspekcija-skripta", *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*, 2007.
[6] http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/attachments/article/64/Modelovanje_Predavanje_5_Numerika_Uvod+MKE_1.pdf (pristupljeno 20.09.2023).

Kratka biografija:

Dragan Tomić rođen je u Bijeljini 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinskog inženjerstva odbranio je 2023.god.

Kontakt: dragan.tomic998@gmail.com

Mario Šokac rođen 1989. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2019. god., a od 2020. god. je zvanju docenta. Uže oblasti interesovanja su reverzibilni inženjerski dizajn, metode 3D digitalizacije i dizajn biomedicinskih modela.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 621.9(043.3)
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM12Djuric

PREDIKTIVNO MODELOVANJE HRAPAVOSTI POVRŠINE PRI OBRADI GLODANJEM LEGURE TITANIJUMA Ti-6Al-4V UZ UPOTREBU MAŠINSKOG UČENJA

PREDICTIVE MODELING OF SURFACE ROUGHNESS DURING MILLING OF TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V USING MACHINE LEARNING

Mile Đurić, Borislav Savković, *Fakultet tehničkih nauka,* Novi Sad

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – *Analiziranje uticaja ulaznih faktora na izlaznu veličinu (hrapavost), modelovanje optimalne kombinacije faktora u cilju postizanja bolje hrapavosti obrađene površine.*

Ključne reči: *Taguči, hrapavost, Minitab, MATLAB, modelovanje, neuronske mreže, glodanje*

Abstract - *Analyzing the influence of input factors on the output value (roughness), modeling the optimal combination of factors in order to achieve a better roughness of the processed surface.*

Keywords: *Taguchi, roughness, Minitab, MATLAB, modelling, neural network, milling*

1. UVOD

Eksperimentalni deo rada predstavlja jedan deo istraživanja koji je izveden u Labaratoriji za mašine alatke i CIM sisteme Mašinskog fakulteta u Istočnom Sarajevu. Naglasak istraživanja bio je na analizi uticaja širine faktora na rezultate planiranih eksperimenata.

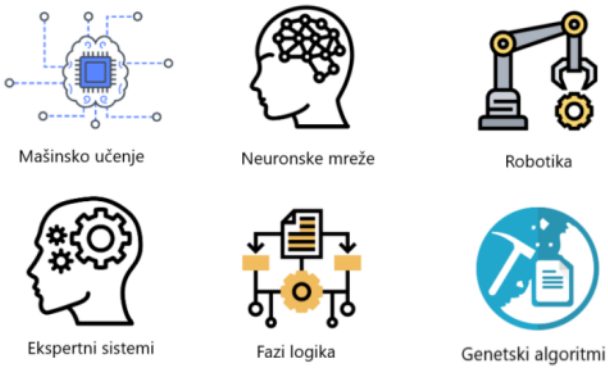
Ukupno su izvedena četiri eksperimenta, koja su obuhvatila obradu glodanjem legure titanijuma, uz četiri faktora, svaki sa tri nivoa. Promatrani faktori su uključivali brzinu rezanja, dubinu rezanja, pomak, te uticaj sredstva za hlađenje i podmazivanje. U eksperimentima je varirana različita širina faktora brzine rezanja, dubine rezanja i pomak po zubu glodala, dok je izlazna veličina, odnosno srednja aritmetička hrapavost, merena na površini nastaloj nakon obrade čeonom ili obimnom stranom alata.

Eksperimentalni rezultati predstavljeni u ovom radu čine jedan od četiri izlaza dobijena u okviru pomenutog istraživanja. Ispitivanja su izvršena na glodalici Emco Concept Mill 250, dok je za merenje izlazne veličine (hrapavosti) korišten Mitutojo surftest SJ210 uređaj. Materijal nad kojim je izvršeno ispitivanje je legura titanijuma Ti-6Al-4V.
Početne stranice ovog rada su posvećene neuronskim mrežama i osnovama glodanja, dok epilog ovog rada predstavljaju analize eksperimentalnih rezultata koje su izvršene u Excelu, Minitab-u i MATLAB-u.

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

2. NEURONSKE MREŽE

Veštačka inteligencija predstavlja spoj konvencionalne nauke, psihologije i fiziologije, u cilju stvaranja sistema koji bi se mogao smatrati „inteligentnim“. Ona se često povezuje sa konceptom znanja, ali se procenjuje da nervni sistem čoveka još uvek daleko ispred veštačke inteligencije.
Neuronske mreže se mogu definisati kao sistem sastavljen od više jednostavnih procesora (jedinica), u kojem svaka od jedinica ima lokalnu memoriju u kojoj pamti podatke koje obrađuje. Ove jedinice su povezane komunikacionim kanalima (vezama) i preko njih se razmenjuju podaci koji su pretežno numerički. Negde se neuronska mreža može definisati kao model mašinskog učenja dizajniran da oponaša funkciju i strukturu ljudskog mozga.
Neuronske mreže se oslanjaju na podatke o obuci da bi naučile i poboljšale svoju tačnost tokom vremena. Međutim, kada se ovi algoritmi učenja primene na odgovrajući način, oni postaju moćni alati u računarskoj nauci i veštačkoj inteligenciji, omogućavajući nam da klasifikujemo i grupišemo podatke velikom brzinom. Zadaci kao što su prepoznavanju govora ili slike mogu trajati nekoliko minuta u odnosu na značajno veće vreme koje je potrebno za identifikaciju od strane ljudi. Jedna od najpoznatijih neuronskih mreža je Google-ov algoritam za pretragu.



Slika 1. *Podela veštačke inteligencije*

ISTORIJAT NEURONSKIH MREŽA

Neuronske mreže se prvi put pominju početkom četrdesetih godina 20-og veka. Najpre su se neurofilozov Veren MekKuloh i logičar Valter Pitsa dotakli ove teme u članku pod nazivom „A Logical Calculus of Ideas

Immanent in Nervous Activity“ koji je objavljen 1943. godine. Ovaj članak je poslužio kao osnova za dalji razvoj neuronskih mreža i u mnogim istraživačim i naučnim radovima se ovaj rad citirao.
Početkom pedesetih godina Marvin Minski je konstruisao neuroračunar pod nazivom „Snark“. Ovaj računar je mogao da podešava težinske koeficijente, ali nije uspeo da ostvari značajnije razultate. Frenk Rozenblat i Čarls Vigtman su 1958. godine razvili računar „Mark“, koji je mnogo bolje funkcionisao u odnosu na „Snark“ računar. Frank Rozenblazt je zaslužan za otkriće jednoslojne neuronske mreže, poznatije kao porcepton.
Jedan od najzaslužnijih ljudi koji je doprineo populizaciji neuronskih mreža bio je poznati fizičar Džon Hopfild koji je sredinom 80-tih u svome radu ispravio paralelu između neuronskih mreža i odeđenih fizičkih veličina. Bark Kosko je u svojoj knjizi “Neural Networks and Fuzzy Systems” dokazao da neurosnke mreže i fazi logiku opisuje isti skup problema.
Početkom devedesetim godina prošlog veka, neuronske mreže su počele da se izučavaju kao predmet na nekoliko prestižnih univerziteta širom SAD. Od tada kreće intezivan rast i razvoj neuronskih mreža koji ima tendenciju da se nastavi daleko u budućnosti.
Smatra se da će neuronske mreže u budućnosti biti dominantna oblast primene veštačke inteligencije u odnosu na ostale oblasti.

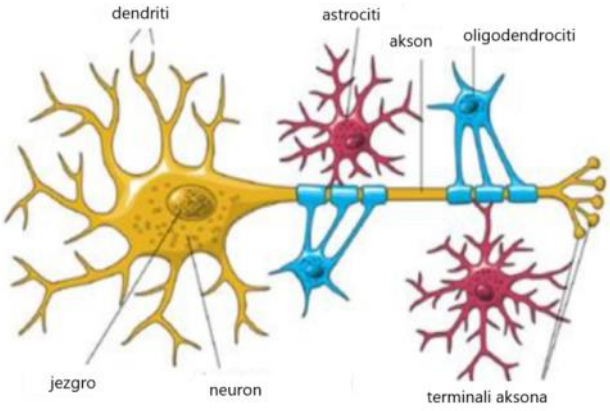
PODELA NEURONSKIH MREŽA

Neuronske mreže se mogu podeliti prema različitim kriterijumima. Osnovna podela neuronskih mreža je na biološke i veštačke neuronske mreže.

Biološke neuronske mreže (BNN)

Neurone možemo definisati kao nosioce informacija koji koriste električne impulse i hemijske signale za prenos informacija. Nervna stanica predstavlja osnovnu jedinicu ljudskog mozga, a ujedno i najsloženiju jedinicu ljudskog organizma. Neuroni prenose informacije u različite delova mozga i nervni sistem. Dakle, sve što mislimo, osećamo i kasnije činimo je sve zbog rada neurona.
Ukratko, možemo zaključiti da biološki neuroni komuniciraju jedni sa drugima tako što šalju hemikalije, zvane neurotransmiteri, preko malog prostora, nazvanog sinapsa, između aksona i dendrita susednih neurona.
Dendriti primaju poruke od drugih ćelija. Neuroni, odnosno njihov električni impuls putuje duž aksona. Aksoni prenose poruke od tela ćelije ka drugim neuronima, žlezdama ili mišićima. Terminali aksona formiraju veze sa drugim ćelijama. Svaki čovek u nervnom sistemu ima oko 10^{11} neurona. Razlikujemo više od 100 različitih vrsta neurona koji se raspoređuju prema definisanom rasporedu. Svaki neuron je povezan sa oko 10^4 drugih neurona.

Prednosti BNN:
• Sinapse predstavljaju element za obradu ulaza,
• U stanju je da obrađuje veoma složene paralelne ulaze.
Nedostaci BNN:
• Ne postoji kontrolni mehanizam,
• Brzina obrade je spora jer je složena.



Slika 2. *Struktura biološke neuronske mreže*

Veštačke neuronske mreže (ANN)

Veštačka neuronska mreža je efikasan računarski sistem čiji je osnovni zadatak i namena preslikana iz analogije bioloških neuronskih mreža. ANN se takođe nazivaju „veštački neuronski sistemi“, ili „paralelno distribuirani sistemi za obradu“, ili „konekcionistički sistemi“. ANN dobija veliku kolekciju jedinica koje su međusobno povezane na neki način da bi se omogućila komunikacija između jedinica. Ove jedinice, koje se takođe nazivaju čvorovi ili neuroni, su jednostavni procesori koji rade paralelno. Svaki neuron je povezan sa drugim neuronom preko odgovarjuće veze. Svaka veza između neurona je povezana, odnosno definisana sa težinom koja ima informacije o ulaznom signalu. Ovo predstavlja najkorisniju informaciju za neurone za rešavanje određenog problema jer težina obično uzbuđuje ili zaustavlja signal koji se prenosi. Svaki neuron ima unutrašnje stanje, koje se naziva aktivacionim signalom. Izlazni signali, koji nastaju kombinovanjem ulaznih signala i aktivacionog pravila, mogu se poslati drugim jedinicama.
Veštačke neuronske mreže se sastoje od slojeva čvorova, koji sadrže ulazni sloj, jedan ili više skrivenih slojeva i izlazni sloj. Svaki čvor, ili veštački neuron, povezuje se sa drugim i ima povezanu težinu i prag. Ako je izlaz bilo kog pojedinačnog čvora iznad navedene granične vrednosti, taj čvor se aktivira i šalje podatke sledećem sloju mreže. U suprotnom, nikakvi podaci se ne prosleđuju na sledeći sloj mreže. U cilju povećanje sposobnosti rešavanja problema, možemo povećati broj skrivenih slojeva i broj neurona u bilo kom datom sloju, kao i broj putanja između neurona.

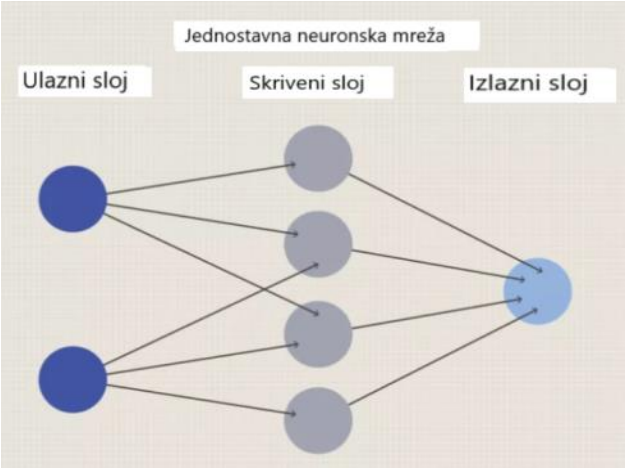
Razlikujemo tri tipa slojeva (čvorova) unatar neuronske mreže:

1.Ulazni sloj: Ovo je sloj koji prima korisnički unos. U većini slučajeva imamo samo jedan ulazni sloj u mreži. Prethodno obrađujemo tekst, slike, audio, video i druge tipove podataka da bismo dobili njihov numerički prikaz.Kasnije, prosleđujemo ovu brojevnu reprezentaciju kao informaciju svakom neuronu ulaznog sloja. Svaki neuron zatim primenjuje unapred definisanu nelinearnu matematičku funkciju za izračunavanje izlaza.

2.Skriveni sloj: Ovaj sloj se nalazi između ulaznog i izlaznog sloja. Ovde se izvode svi neophodni matematički složeni proračuni. Ovde neuronske mreže

uče da rešavaju zadate probleme. U neuronskoj mreži može postojati jedan ili više skrivenih slojeva. Neuroni u skrivenom sloju primaju svoje ulaze ili od neurona ulaznog sloja ili od neurona prethodno skrivenog sloja. Svaki neuron zatim prosleđuje ulaz drugoj nelinearnoj funkciji i nakon toga šalje izlaz neuronima sledećeg sloja.

3.Izlazni sloj: Ovaj sloj se isporučuje nakon nekoliko transformacija i optimizacija. Imamo samo jedan izlazni sloj u mreži koji označava logički završetak neuronske mreže. Konačni rezultat možemo imati kao jednostavnu binarnu klasifikaciju koja označava jednu od dve klase ili možemo imati višeklasne klasifikacije. Takođe možemo koristiti konačni rezultat kao predviđenu vrednost.



Slika 3. *Struktura neuronske mreže*

Prilikom opisivanja neurona, razlikujemo tri osnovna elementa:

1.Sinapse- predstavljaju skup linija od kojih se svaka karakteriše svojom jačinom i težinom. Efikasnost sinapse se izražava kroz sinaptičku težinu. Ulazni signal xi se prilikom ulaza u sinapsu povezuje sa neuronom tako što se njegova vrednost pomnoži sa težinskim koeficijentom wi. U zavisnost od toga da li je težina pozitivna ili negativna vrednost, razlikujemo dva slučaja: a) u slučaju pozitivne vrednosti sinapse je pobuđujuća, b) u slučaju negativne vrednosti sinapsa je inhibitorna.

2.Sabirač- Ovaj element se označava sa Σi i on predstavlja sumu ulaznih signala. Na izlazu sabirača se dobija linearna kombinacija ulaza.

3.Aktivaciona funkcija- Preko ovog elementa dobijamo izlaz iz neurona na osnovu predhodnog izlaza kojeg smo dobili na izlazu sabirača. Vrednost izlaznog signala iz neurona je ograničena na neke konačne vrednosti, kao što su zatvoreni intervali. Neki od najčešće korišćenih skupova aktivacionih funkcija su binarne, linearne i hiperboličke sigmoidne aktivacione funkcije.

Prednosti ANN:

• Sposobnost učenja bez obzira na vrstu podataka (linearni ili nelinearni),

• ANN je veoma primenljiv i daje dobre rezultate pri predviđanju finansijskih, tržišnih promena.

Nedostaci ANN:

• Najjednostavnija arhitektura otežava predviđanje o tome kako će se mreža ponašati u budućnosti,

• Ova mreža zavisi od hardvera.

Podela veštačkih neuronskih mreža:

1. Feedforward i Feedback neuronska mreža
2. RBF neuronska mreža
3. Rekurentna neuronska mreža (RNN)
4. Konvoluciona neurosnka mreža (CNN)
5. Mreža dugoročne memorije (LSTM)
6. Model od sekvence do sekvence
7. Modularne neuronske mreže

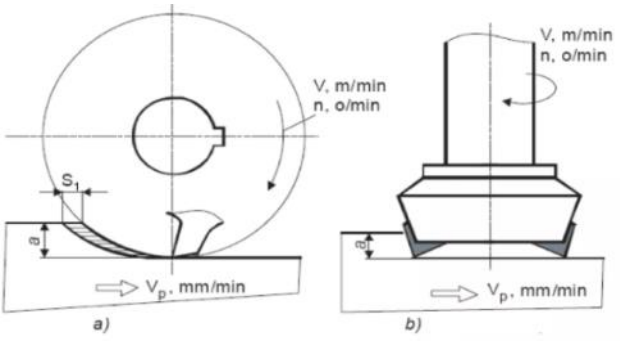
3. OSNOVE GLODANJA

Glodalica je vrsta mašine koja uklanja materijal sa radnog predmeta pri čemu glodalo vrši glavno kružno kretanje, dok obradak izvodi pomoćno pravolinijsko kretanje. To je vrsta procesa obrade u kojoj se glodalo koje ima više reznih ivica koristi za uklanjanje materijala sa radnog predmeta. Ova mašina alatka čini oko 85% svih procesa uklanjanja materijala.

Prema rasporedu reznih elemenata alata, možemo razlikovati dva osnovna postupka obrade glodanjem:

1. Obimno glodanje,

2. Čeono glodanje.



Slika 4. *Osnovne operacije glodanja: a)obimno, b)čeono*

Kod čeonog glodanja, sečenja se vrši prvenstveno sa krajnjim uglovima glodala. Čeono glodanje se koristi za sečenje ravnih površina na radnim predmetima ili za sečenje udubljena sa ravnim dnom. Kod obimnog glodanja, sečenje se vrši prvenstveno duž obima glodala, tako da poprečni presek površine koja se obrađuje dobija oblik glodala. U ovom slučaju može se videti kako sečiva glodala izvlače materijal iz radnog komada. Obimno glodanje je pogodno za glodanje dubokih otvora, navoja i zubaca zupčanika. Prema smeru međusobnih kretanja alata i predmeta obrade razlikujemo istosmerno i suprotnosmerno glodanje.

Alati za obradu glodanjem – glodala spadaju u grupu višesečnih alata cilindričnog oblika sa reznim elementima raspoređenim po obimu ili čeonoj površini. Prema vrsti i obliku glodala koja se koristi pri obradi glodanjem, proizvodni zahvati se mogu izvoditi sa jednim od sledećih tipova glodala: valjkastim glodalima, čeonim glodalima, vretenastim glodalima, koturastim glodalim.

4. REALIZACIJA EKSPERIMENTA

Kao ulaz u eksperiment, posmatrali su se sledeća četiri faktori pri čeonom glodanju obradka: brzina rezanja,

dubina rezanja, pomak po zubu i sredstvo za hlađenje i podmazivanje. Svaki od ovih faktora je variran na tri nivoa. Izlaznu veličinu predstavlja hrapavost obrađene površine koja je izmerena pomoću Mitutojo surftest SJ210 uređaja za merenje hrapavosti. Emco Concept Mill 250 predstavlja obradni vertikalni centar sa najnovijom tehnologijom servo pogona. Ova mašina raspolaže sa snagom od 7 kW, magacinom sa kapacitetom od 20 alata sa brzim dvostrukim griperom. Idealan za obradu čelika i aluminijuma. Za obradu na ovoj mašini korištena je legura Ti-6Al-4V.

Tagučijev metod

Na osnovu Tagučijevog plana eksperimenta izabran je Tagučijev L27 (3^4) ortogonalni niz, iz čega sledi da je izvršeno 27 merenja pri čemu su varirana 4 kontrolna faktora na 3 nivoa.

Naziv faktora	Nivo / Oznaka	1	2	3
Brzina	A	30	60	90
Pomak	B	0.05	0.12	0.2
Dubina	C	0.3	0.6	0.8
SHP	D	Emulzija (1)	Suho (2)	Turbina (3)

Tabela 1. Nivoi faktora eksperimenta

Nakon postavljanja plana eksperimenta i merenja rezultata, usledila je analiza dobijenih rezultata. Analiza varijacije (ANOVA) predstavlja niz koraka na osnovu kojih se analiziraju i simuliraju rezultati dobijeni eksperimentom.

Faktor	Stepen slobode	Suma kvadrata	Varijacije	F-test
	DF	S	V	F
A	2	0.065352	0.032676	4.547
B	2	2.449294	1.224647	170.398
C	2	0.477064	0.238532	33.189
D	2	0.670	0.334766	46.580

Tabela 2. ANOVA tabela

Vrednost F-testa za sva četiri faktora je ≥1 što znači da su sve vrednosti signifikantne. Na osnovu ove tabele dolazimo do zaključka da najveći uticaj na izlazne rezultate ima pomak, dok najmanji uticaj ima brzina.
Procentualno učešće svakog od faktora, kao i greške na izlazne rezultate eksperimenta je sledeće:

$P_A = \frac{S_A}{S_T} * 100\% = 1.72405\ \%$ - brzina

$P_B = \frac{S_B}{S_T} * 100\% = 64.6148\ \%$ - pomka

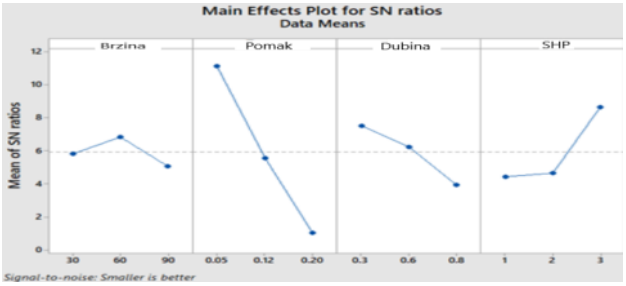
$P_C = \frac{S_C}{S_T} * 100\% = 12.58542\ \%$ - dubina

$P_D = \frac{S_D}{S_T} * 100\% = 17.66294\ \%$ - SHP

$P_E = \frac{S_E}{S_T} * 100\% = 3.412791\ \%$ - greška

Minitab

Minitab je softverski alat za analizu podataka, statistiku i poboljšanje procesa koji koriste organizacije širom sveta za poboljšanje kvaliteta i smanjenje troškova. Minitab alate koriste inženjeri kvaliteta i statističari da pomognu u rešavanju problema iz stvarnog sveta. Minitab pruža korisnicima alate za obavljanje statističke analize, uključujući testiranje hipoteza, regresionu analizu i ANOVA. Pored toga, Minitab pruža različite grafičke alate koji pomažu korisnicima da vizuelizuju podatke.
Da bi se uverili u tačnost rezultat dobijenih računanjem preko Taguči i ANOVA formula u Excel-u, poslužit ćemo se alatima koje poseduje Minitab.



Slika 5. *Uticaj faktora na SN odnos*

Na osnovu ovog grafika zaključujemo da se optimalne vrednosti SN odnosa dobiju kada su faktori na sledećim nivoima:•brzina = 60 (drugi nivo)
•pomak = 0.05 (prvi nivo)
•dubina = 0.3 (prvi nivo)
•SHP = 3 (treći nivo)

Analiza varijacije za signal/šum odnos nam prikazuje p-vrednost za svaki od naših faktora, kao i za kombinacije prvog faktora sa ostalima.
Ako je:
r-vrednost < 0,05 - faktor je signifikantan.
r-vrednost > 0,05 - faktor nije signifikantan
Dolazimo do zaključka da je pomak signifikantan u slučaju kada nam je faktor poverenja 95%. Prilikom analiza sa upotrebom niže vrednosti faktora poverenja, signifikantnost su pokazali i ostali faktori.

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Brzina	2	14.387	14.387	7.193	1.68	0.263
Pomak	2	464.562	464.562	232.281	54.29	0.000
Dubina	2	59.478	59.478	29.739	6.95	0.027
SHP	2	101.745	101.745	50.873	11.89	0.008
Brzina*Pomak	4	5.649	5.649	1.412	0.33	0.849
Brzina*Dubina	4	3.657	3.657	0.914	0.21	0.921
Brzina*SHP	4	2.174	2.174	0.544	0.13	0.967
Residual Error	6	25.673	25.673	4.279		
Total	26	677.325				

Slika 6. *Analiza varijacije*

Prema uticaju na izlazne rezultate eksperimenta, faktori se prema važnosti mogu poredati prema sledećem rasporedu:

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Brzina	Pomak	Dubina	SHP
1	5.835	11.175	7.558	4.435
2	6.857	5.560	6.244	4.669
3	5.076	1.034	3.966	8.665
Delta	1.782	10.141	3.593	4.230
Rank	4	1	3	2

Slika 7. *Rangiranje faktora prema uticajnosti na izlaz*

Očitavanjem vrednosti sa grafika možemo zaključiti da vrednost hrapavosti raste sa porastom vrednosti pomaka, dubine i brzine, dok opada sa povećanjem vrednosti SHP.

Neuronske mreže

Za obučavanje, realizaciju neuronske mreže korišćen je računarski program MATLAB R2016a koji je zasnovan na matematičkom konceptu matrica. Ovaj program poseduje širok opseg metoda neuronskih mreža kao i veliki broj algoritama za učenje. Pored toga, raspolaže i sa alatima za vizuelizaciju, simulaciju i realizaciju.
Od ukupno 27 različitih kombinacija režima obrade koji su korišćeni prilikom eksperimenta, svih 27 je korišteno za obučavanje (treniranje) neuronske mreže dok je nasumično izabranih pet iskorišteno za testiranje neuronske mreže.

Broj eksperimenta	A	B	C	D	Ra srednje
3	30	0.05	0.8	3	0.280333
8	30	0.2	0.6	1	1.263667
13	60	0.12	0.3	2	0.487667
18	60	0.2	0.8	2	1.085667
23	90	0.12	0.6	3	0.437667

Tabela 3. Nasumično izabrani režimi za testiranje

Nakon analize rezultata dobijenih primenom neuronske mreže dolazimo do zaključka da je primetno odstupanje dobijeno samo u jednom slučaju treniranja mreže (odstupanje veće od 10%), dok su za ostala 4 slučaja odstupanja u dozvoljenim granicama. Ukupno prosečno odstupanje iznosi oko 5%.

Broj eksper.	A	B	C	D	Ra očekivano	Ra nakon treninga	Razlika u %
3	30	0.05	0.8	3	0.2803	0.2912	3.73
8	30	0.2	0.6	1	1.2636	1.2097	4.46
13	60	0.12	0.3	2	0.4876	0.4888	0.2
18	60	0.2	0.8	2	1.0856	0.9248	17,39
23	90	0.12	0.6	3	0.4376	0.4335	0.9

Tabela 4.Očekivane i dobijene izlazne vrednosti

9. ZAKLJUČAK

Vrednosti F-testa do kojih smo došli na kraju proračuna korišćenjem Tagučijeve metode nam pokazuju uticajnost (signifikantnost) svih faktora na izlaznu veličinu (hrapavost). Na osnovu ovih rezultata dolazimo do zaključka da najveći uticaj na izlazne rezultate ima pomak, dok najmanji uticaj ima brzina.
Analiza podataka kroz Minitab je na neki način predstavljala proveru rezultata do kojih smo predhodno došli pri obradi podataka u Excel-u.
Rezultati koje smo dobili nakon treniranja neuronske mreže nisu u potpunosti zadovoljili naša očekivanja (jedan slučaj odstupa previše), što nam govori da treniranje ovakve mreže zahteva veću količinu ulaznih podataka kako bi se mreža dovoljno istrenirala.

10. LITERATURA

[1] Ugochi, D., Yimin, Z., Kranthi, K.D., (2018). *Unsupervised Learning Based On Artificial Neural Network: A Review*, International Conference on Cyborg and Bionic Systems, pp. 323-327.

[2] Tlhabadira, I.,Daniyan, I.A.,Machaka, R.,Machio, C.,Masu, L., VanStaden, L.R., (2019). *Modelling and optimization of surface roughness during AISI P20 milling process using Taguchi method*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp.3707-3718.

[3] Kovač, P., (2011). *Metode planiranja i obrade eksperimenta*, Fakultet tehničkih nauka.

[4] Canakci, A., Erdemir, F., Varol, T., Patir, A., (2013). *Determining the effect of process parameters on particle size in mechanical milling using the Taguchi method: Measurement and analysis*, Elsevir; Measurment 46, pp. 3532-3540.

[5] Mao, H., Jiao, L., Gao, S., Yi, J., Peng, Z., Liu, Z., Yan, P., Wang, X., (2016). *Surface quality evaluation in meso-scale end-milling operation based on fractal theory and the Taguchi method*, International Journal Advanced Manufacturing Technology 91, pp. 657-665.

Kratka biografija:

Mile Đurić rođen je u Bijeljini, 1999. godine. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, oblast-Mašinstvo –Proizvodno mašinstvo.

Kontakt: djuric.mile99@gmail.com

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

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 697.34
DOI: https://doi.org/10.24867/26AM13Vizmeg

ANALIZA I MERE UNAPREĐENJA SISTEMA DALJINSKOG GREJANJA TOPLANE U RUMI

ANALYSIS AND IMPROVEMENT MEASURES OF THE DISTRICT HEATING SYSTEM IN RUMA

Ivan Vizmeg, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – *U ovom radu prikazana je analiza sistema daljinskog grejanja toplane JP"Stambeno" Ruma, deljenjem sistema na 3 komponente: izvori, mreža i toplotno predajne stanice. Nakon analize date su mere za unapređenje sistema, ove mere su sastavljene u 3 paketa .*

Ključne reči: *Sistemi daljinskog grejanja, rehabillitacija sistema daljinskog grejanja, unapređenje sistema grejanja*

Abstract – *This paper presents the analysis of the district heating system of the heating plant JP "Stambeno" Ruma, by dividing the system into 3 components: sources, network and heat transmission stations. After the analysis, measures were given to improve the system, these measures were compiled into 3 packages.*

Keywords: *District heating systems, rehabilitation of district heating systems, improvement of heating systems.*

1. UVOD

Sistemi daljinskog grejanja se smatraju vrednim sredstvima energetskih mreža, koja omogućavaju efikasno korišćenje resursa. Trenutno, SDG mreže su dobro uspostavljene u mnogim zemljama. Princip rada sistema jeste da se centralno proizvodi toplota i nakon toga distribuira potrošačima kroz cevi zakopane u zemlju, kako bi pokrili svoje zahteve za grejanje i toplu potrošnu vodu (TPV).

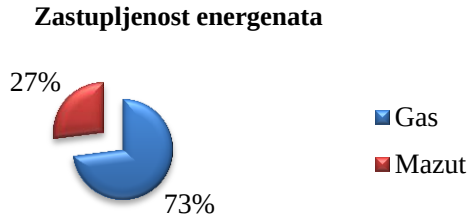
Sistemi daljinskog grejanja dolaze u različitim veličinama postrojenja, koje mogu da pokriju potrebe male grupe zgrada u istom naselju ili šemama širom grada koje se sastoje od hiljada povezanih zgrada. SDG karakteriše raznovrsnost tehnologija koje nastoje da razviju sinergiju između snage, proizvodnje toplote, dovodne toplote, hlađenja i TPV aplikacija korisnika.

Toplana u Rumi JP ”Stambeno” nastala je iz radne organizacije “Stambeno” za stambeno poslovne usluge bez osnovnih organizacija 13.04.1975 godine izdvajanjem OOUP-a iz sastava radne organizacije “Rumaplan” Ruma. Trenutno toplana je podeljena u 4 sektora koji zadovoljavaju 20 % grejne površine grada sistem je projektovan za režim grejanja 110/70 ^{o}C, i nazivnim pritiskom od 6 bara [2]. U tabeli 1.1. prikazani su sektori sa svojim aktivnim grejnim površinama i snagama kotlarnica:

Tabela 1 Prikaz raspodele snage i grejne površine po sektorima i kotlarnicama [1]

SEKTOR	Kotlarnica	Ukupna snaga kW	Aktivna grejna po-vršina m^2
Tivol	Tivol	3.200	13.992,65
Solidarnost	Solidarnost	6.000	29.125,86
Centar Sever	Sportski Centar	8.000	21.068,5
	Robna Kuća	4.200	20.690
	Kastanija	1.160	1.937,00
Centar Jug	JNA	1.500	5.957,39
	PSV 136	650	2.801,22
	Ukupno:	24.710	95.572,82

Toplana uglavnom koristi prirodni gas kao glavni energent i manje količine mazuta pri proizvodnji toplotne energije, zastupljenost energenata pri proizvodnji toplotne energije prikazana je na slici 1.



Slika 1. Prikaz zastupljenosti energenata pri proizvodnji toplotne energije u toku poslednje 3 sezone[1]

2. ANALIZA SISTEMA DALJINSKOG GREJANJA

Mreža

Ukupna dužina distributivne mreže je 7.092 km sa prosečnom starosti od 33 godine. Zbog prilično velike starosti distributivne mreže i prateće armature u toku grejne sezone postoji gubitak vode od približno 20m^3. Zastupljenost načina polaganja cevi je sledeća: 55% Nadzemno, 31% u betonskom kanalu i 14 % u zaštitnu cev. Trenutna zastupljenost vrsta toplotne izolacije su 14% predizolovane i 86% mineralna i staklena vuna [2].

Toplovodna mreža od lokalnih kotlarnica do podstanica građena je u više faza i izvedena je od čeličnih cevi izolovanih mineralnom ili staklenom vunom u opšivci ter

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio vanr. prof. dr Aleksandar Anđelković.

hartije (toplovod građen pre 1983.) ili, u opšivci Al-u lima (toplovod građen posle 1983.godine). Tek mali deo priključaka je građen posle 1990. godine je izveden predizolovanim cevima. Temperaturski režim rada je 110/70° C, a nazivni pritisak je PN16. Duž cele trase toplotna dilatacije su kompenzovane primenom geometrijskih oblika Z, U ili L kompenzatora.

Metoda koja se koristila zasniva se na proračunu toplotnih gubitaka u pojedinim trasama po 1 m predizolovane cevi, uzimajući u obzir starost toplovoda i trenutno stanje izolacije [3].

Gubitak toplote po 1 m izolovane cevi računa se na sledeći način:

$$Q_{gub} = U \cdot (t_u - t_s) \left[\frac{W}{m}\right] \quad (2.1)$$

gde je:

Q_{gub} - gubitak toplote po 1 m cevi u $\left[\frac{W}{m}\right]$

U - koeficijent toplotne provodljivosti izražen u $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

t_u - temperatura vode unutar cevi izražena u K

t_s - spoljašnja temperatura, odnosno temperatura zemljišta izražena u K

Koeficijent toplotne provodljivosti izračunava se na sledeći način:

$$U = \frac{1}{R_1+R_2+R_3+R_4} \left[\frac{W}{m \cdot K}\right] \quad (2.2)$$

gde je:

R_1 - otpor toplotne provodljivosti cevi izražen u $\left[\frac{m \cdot K}{W}\right]$

R_2 - otpor toplotne provodljivosti izolacije izražen u $\left[\frac{m \cdot K}{W}\right]$

R_3 - otpor toplotne provodljivosti plašta izolacije izražen u $\left[\frac{m \cdot K}{W}\right]$

R_4 - otpor toplotne provodljivosti zelmljišta izražen u $\left[\frac{m \cdot K}{W}\right]$

Otpor toplotne provodljivosti cevi se računa kao:

$$R_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot ln \frac{D_o}{D_i} \left[\frac{m \cdot K}{W}\right] \quad (2.3)$$

gde je :

D_o - spoljšnji prečnik cevi $[m]$

D_i - unutrašnji pričnik cevi $[m]$

λ_c - koeficijent prolaza toplote cevi $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

Otpor toplotne provodljivosti izolacije se računa kao :

$$R_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_c} \cdot ln \frac{D_o}{d_i} \left[\frac{m \cdot K}{W}\right] \quad (2.4)$$

d_i - unutrašnji preičnik izolacije $[m]$

λ_c - koeficijent prolaza toplote cevi $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

Otpor toplotne provodljivosti izolacije se računa kao :

$$R_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_c} \cdot ln \frac{D_o}{d_i} \left[\frac{m \cdot K}{W}\right] \quad (2.5)$$

d_i - unutrašnji preičnik plašta izolacije $[m]$

λ_c - koeficijent prolaza toplote cevi $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

Otpor toplotne provodljivosti zemljišta se računa kao :

$$R_4 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p} \cdot ln \frac{4 \cdot Z}{d_i} \left[\frac{m \cdot K}{W}\right] \quad (2.6)$$

d_o - spoljšnji prečnik plašta izolacije $[m]$

λ_p - koeficijent prolaza toplote cevi $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

Z - dubina položene cevi u zemlju $[m]$

Radi proračuna prosečnog gubitka toplote u sistemu, uzima se prosečan prečnik od 133 mm sa debljinom izolacijom od 3 cm (0,05 m), temperatura vode od 333 K (65°C), prosečna temperatura zemljišta 281 K (8°C) i dubina položene cevi 1,4 m rezultati ovog proračuna prikazani su u sledećoj tabeli:

Tabela 2. Prikaz gubitaka toplote mreže

ϕ 133	7.010	m
Q_{gub}	47,87405414	$\frac{W}{m \cdot K}$
U	0,39895687	$℃$
t_u	65	$℃$
t_s	8	$℃$
R_1	0,000338394	$\frac{m \cdot K}{W}$
R_2	0,785148338	$\frac{m \cdot K}{W}$
R_3	0,000201791	$\frac{m \cdot K}{W}$
R_4	0,404935522	$\frac{m \cdot K}{W}$
λ_{cev}	16	$\frac{W}{m \cdot K}$
$\lambda_{izolacija}$	0,04	$\frac{W}{m \cdot K}$
$\lambda_{opširka\ izolacije}$	14	$\frac{W}{m \cdot K}$
$\lambda_{zemljišta}$	1,4	$\frac{W}{m \cdot K}$
D_O	137,6	mm
D_i	133	mm
d_i	167,6	mm
d_o	170,6	mm
Z	1.500	mm

Podstanice

Sistem se sastoji od 41 toplotno predajnih stanica koje su zanovljene u toku IV faze KfW-a. Sve podstanice su izvedene po sličnoj dispoziciji opreme u zavisnosti od veličine prostora u kojoj se nalazi podstanica. Broj podstanica po sektorima je sledeći:

Tabela 3. Podatci o tipu i broju podstanica po sektoru [1]

Sektor	Br. podstanica	Tip podstanica
Tivol	4	Indirektna
Solidarnost	14	Direktna
Centar Sever	21	Direktna
Centar Jug	2	Direktna

Uočeni problemi podstanica su visoka potrošnja električne energije u podstanicama koje nisu renovirane u toku programa KfW, uglavnom sektor Tivol i pojedine podstanice sektora Centar Sever, kao i zastarela oprema za regulaciju, zastarele pumpe itd.

Nakon analize uočeno je da najveću potrošnju električne energije imaju podstanice Tivol L1, Tivol L2, Tivol L3, Tivol L4, L4, V. Dugoševića 144/II. Ove podstanice su i jedine koje nisu renovirane u toku programa KfW i još uvek se u njima nalaze stare pumpe koje nemaju mogućnost regulacije, predimenzionisane su za potrebe snabdevanja zgrada. Naravno, određivanje podstanica

koje troše preveliku količinu el. energije zavisi i od broja potrošača kao i površina samog grejnog prostora.

Izvori

Centar Sever

U poslednjih par godina najveći deo investicija se ulagao u ovaj sektor koji je istorijski imao najviše potrošača a i najniži stepen efikasnosti. Glavna kotlarnica u ovom sektoru je kotlarnica Sportski Centar koja ima dovoljan kapacitet da podmiri ceo sektor do određene temperature primenom noćnog rada. Mazutna kotlarnica Venac je ugašena i prepravljena u toplotno predajnu stanicu, zgrade koje je ova kotlarnica grejale su preuzete od kotlarnice Sportski Centar.

Kotlarnica Kastanija predstavlja malu kotlarnicu, ima malu grejnu površinu i praktično greje samo jednu zgradu, kotlarnica Sportski Centar bi mogla preuzeti i ovu grejnu površinu ali nepostoji magistralni toplovod koji spaja ove dve kotlarnice kao ostale u ovom sektoru. Poslednja kotlarnica u ovom sektoru je mazutna kotlarnica Robna Kuća, u 2023. godini se povezala na magistralni toplovod putem sadašnje toplotno predajne stanice "Venac", iz tog razloga se ova kotlarnica u grejnoj sezoni 2023-2024 preći u rezervu, i njenu grejnu površinu preuzima Sportski Centar.

Centar Jug

Centar Jug se sastoji od dve manje kotlarnice "JNA" i "Borovica". U toku je izgradnja nove gasne kotlarnice JNA koja ima cilj zamene mazutne kotlarnice i smanjenja emisija zagađujućih materija koje proizvodni mazutna kotlarnica kao i postizanje dovoljne rezervne snage u slučaju priključenja svih zgrada koje imaju mogućnost priključenja ili su trenutno isključene sa SDG-a.

Solidarnost

U ovom sektoru postoje dve kotlarnice sa istim imenom. Reč je o staroj mazutnoj kotlarnici i novoj gasnoj koja je izgrađena 2020. godine u cilju unapređenja kvaliteta grejanja kao i smanjenja emisije štetnih materija koji se emituju sagorevanjem mazuta. Trenutno jedan od kotlova u staroj mazutoj kotlarnici je u funkciji i služi samo kao rezerva u slučaju havarije ili prestanka snabdevanja gasa.

Tivol

Gasna kotlarnica je izgrađena 2020. godine kao zamena mazutne parne kotlarnice u sklopu fabrike Rumen. Ova kotlarnica je nakon gašenja fabrike koja je delila proizvedenu toplotnu energiju sa toplanom ostala kao predimenzonisana za konzum koji joj je namenjena.

3. MERE I PAKETI UNAPREĐENJA

Mreža

Unapređenje mreže, za razliku od drugih delova sistema, može se jedino postići zamenom postojećih cevi iz jednostavnog razloga što nije praktično menjati samo izolacija na cevima, a i s obzirom na starost cevovoda jedina mera jeste zameniti u potpunosti cevnu mrežu ili pojedine delove mreže koje su prethodnom analizom uočene kao najkritičnije.

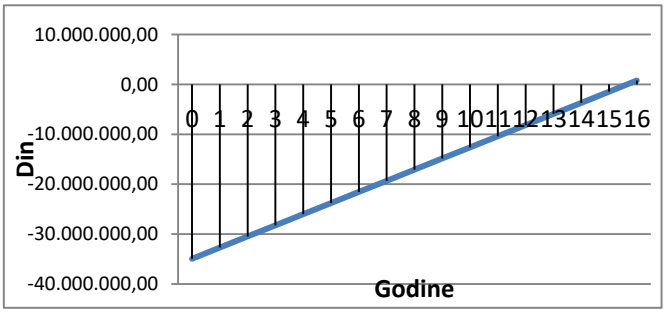
Radni vek predizolovanih cevi je oko 30 godina, tako da će se isplativost toplovoda analizirati za duži vremenski period. Naravno ovaj period je predugačak da bi bio ekonomski prihvatljiv, ali s obzirom na radni vek pretpostavlja se da je period isplate kraći od 15 godina prihvatljiv.

Uticaj na gubitke topote je sledeći:

Tabela 4. Podela utroška i uštede zamene toplovoda [1] [3] [4]

Sektor:	Centar Sever	Centar Jug	Solidarnost	Tivol
Gubici toplote pre primene mere	332.180,3	74.047,4	355.317,1	144.680,4
Gubici toplote nakon primene mere	204.984,5	52.695,2	168.810,7	46.496,1
Ušteda u kW/h	127.195,8	21.352,2	186.506,3	98.184,3
Ukupna cena zamene toplovodne mreže			34.944.866	
Ukupna ušteda u kW/h			433.238,69	
Ukupna ušteda po ceni gasa od 4,32 din/kWh za gasne kotlarnice	1.565.050,0	Ukupna ušteda po ceni mazuta od 9,4 din/kWh za mazutne kotlarnice		667.010,61
Ukupno uštede mazut + gas		2.232.060,7		
Period isplate		15,65 godina		

Tok otplate je prikazan na slici 2.



Slika 2. Grafički prikaz toka otplate

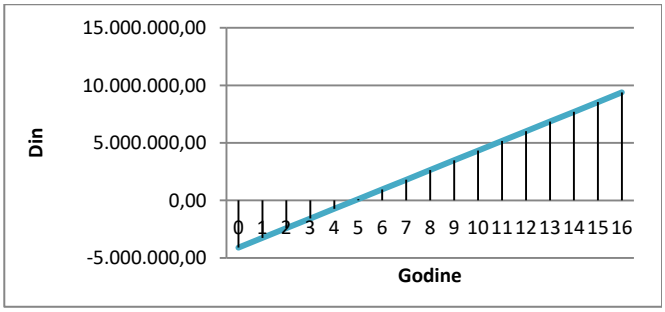
Podstanice

Kao što je već rečeno u prethodnom poglavlju, trenutno, najveći nedostatak prodstanica je velika potrošnja električne energije zbog zastarelih pumpi u pojedinim podstanica u kojima je ugrađena automatika, odnosno automatski mešni ventili i kontroleri, ali ne i frekvetno reguacione pumpe, kao i oprema koja trenutno nije u funkciji, zastarela ili više neispunjava uslove povezivanja na sistem za automatsko upravljanje i nadzor odnosno SCADA sistema.Predložene mere unapređenja se zasnivaju na zameni zastarelih i neefikasnih pumpi, finansijski uticaj je sledeći:

Tabela 5. Opis i finansijski uticaj mera [6]

Podstanice	Cena investicije	Godišnja ušteda	Period otplate
L1/II	819.000,00	132.760,00	6,17
L2/II	823.680,00	108.980,00	7,56
L3/III	702.000,00	134.980,00	5,20
L4/III	702.000,00	168.380,00	4,17
Veljka Dugoševića 144/ II	1.053.000,00	297.800,00	3,54
Ukupno	4.099.680,0	842.900,00	4,86

Tok otplate prikazan je na slici 3.



Slika 3. Grafički prikaz toka otplate

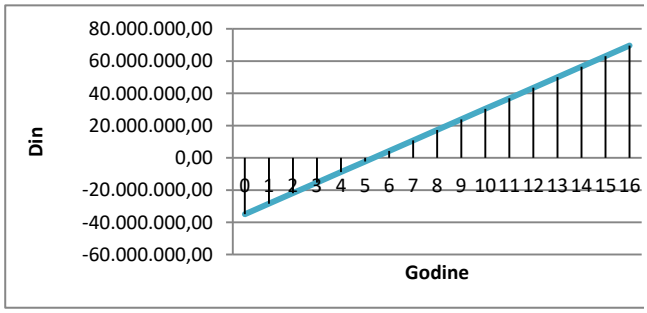
Izvori

Nedostaci u izvorima odnosno proizvodnji toplotne energije, kao i u već napomenutim delovima sistema se svodi na starost sistema i kvar pojedinih komponenata regulacije i merenja. Radi sigurnog snabdevanja potrošača predložena je i rekonstrukcija postojećih mazutnih kotlarnica, gde je moguće, ili građenje novih kotlarnica koje koriste drugi, odnosno, alternativni energent kao što je biomasa, biogas, toplotne pumpe itd.

Tabela 6. Opis i finansijski uticaj mera [6]

Izvori	Cena investicije (din)	Godišnja ušteda (din)	Period otplate (god)
Zamena pumpe Sportski Centar	**725.400,00**	**394.000,00**	**1,84**
Zamena kotlova JNA	**6.770.000,00**	**885.841,95**	**7,64**
Zamena pumpe za zgradu Železnička 11	**409.500,00**	**67.500,00**	**6,07**
Zamena pumpe za zgradu Železnička 13	**245.700,00**	**28.080,00**	**8,75**
Zamena pumpe za zgradu JNA 155	**409.500,00**	**67.500,00**	**6,07**
Zamena pumpe za zgradu Proleterska 2	**362.700,00**	**5.832,00**	**62,19**
Zamena pumpe za zgradu JNA 160	**245.700,00**	**22.140,00**	**11,10**
Zamena zaštitne cirkulacione pumpe	**257.400,00**	**27.000,00**	**9,53**
Nova kotlarnica JNA	**25.552.800,00**	**5.040.247,00**	**6,25**
Ukupno	**34.978.700,00**	**6.538.140,95**	**5,35**

Tok otplate prikazan je na slici 4.



Slika 4. Grafički prikaz toka otplate

4. ZAKLJUČAK

Opšta je ocena da su određeni delovi proizvodnih postrojenja dotrajali, uglavnom toplovod a visok stepen automatizacije u većini izvora odnosno kotlarnica kao i u toplotno predajnim stanicama je prednost ove toplane. Jedan od velikih nedostataka jeste nekorišćenje obnovljivih izvora energije. Revitalizacija, povećanje energetske efikasnosti i dalji razvoj sistema daljinskog grejanja u Srbiji je prioritet za smanjenje emisije štetnih materija kao i izbacivanje mazuta iz svih toplana.

Poslovanje toplane je veoma teško i zabrinjavajuće. Toplana posluje sa gubitkom, velika su dugovanja i potraživanja, naplata je slaba, specifična potrošnja i toplotni gubici su veliki a broj zaposlenih je veći od potrebnog.

Povećanje prihoda, smanjenje rashoda, smanjenje specifične potrošnje energenata i merenje potrošnje toplotne energije su segmenti u kojima toplana u postojećim uslovima može dati značajan doprinos poboljšanju rada i poslovanja. Veliki doprinos ovome bi dalo prelazak na naplatu po potrošnji kao i predstavljene mere unapređenja.

5. LITERATURA

[1] Izvor JP"Stambeno" Ruma

[2] Heat Loss Calculation Method for Pipe, Tesisat, Tesisat, Turska februar 2016. godine, https://www.tesisat.org/en/heat-loss-calculation-method-for-pipe.html (poslednji put posećeno 20.08.2023)

[3] UTICAJ TOPLOVODA NA EFIKASNOST SISTEMA CENTRALNOG GREJANJA, Jelena Janevski, Branislav Stojanović, Dejan Mitrović, Mirko Stojiljković, Marko Ignjatović, 13. simpozijum termičara Srbije, Sokobanja, Srbija, 16-19. oktobar, 2007

[4] Termoplus predizolovane cevi https://www.termoplus.rs/predizolovane-cevi/ (poslednji put posećeno 04.09.2023)

[5] ZAKON o energetskoj efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije "Službeni glasnik RS", broj 40 od 22. aprila 2021.

[6] WILO Beograd d.o.o. https://wilo.com/rs/sr (poslednji put posećeno 09.08.2023)

Kratka biografija:

Ivan Vizmeg rođen je u Rumi 1999. god. Završio Srednju Tehničku školu "Milenko Brzak Uča" u Rumi, nakon čega 2018. god. upisuje Fakultet tehničkih nauka u oblasti Mašinstvo – Energetika i procesna tehnika. Bachelor rad odbranio je 2022.god. Dok je Master rad odbranio 2023. god.
kontakt: ivan.vizimeg@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 624.012.4.059
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG01Tadic

PROCENA STANJA I ENERGETSKA SANACIJA ZGRADE OSNOVNE ŠKOLE „14. OKTOBAR“ U DRAGINCU

CONDITION ASSESSMENT AND ENERGY RENOVATION OF THE „14 OCTOBER” PRIMARY SCHOOL BUILDING IN DRAGINAC

Aleksandar Tadić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – *Rad se sastoji iz teorijskog i praktičnog dela. U teorijskom delu se obrađuje tema bezbednosti od požara fasadnih zidova zgrada. U praktičnom delu je prikazan kratak tehnički opis objekta, osnovne škole 14. Oktobar u selu Draginac kraj Loznice. Izvršen je makroskopski vizuelni pregled zgrade sa spoljašnje i unutrašnje strane, kako bi se registrovala oštećenja i defekti i ocenilo stanje zgrade sa aspekta nosivosti i trajnosti. Urađen je proračun energetske efikasnosti i dobijen je energetski razred objekta. Predložene su mere za energetsku sanaciju i urađen je novi proračun energetske efikasnosti. Upoređeni su rezultati postojećeg i energetski saniranog objekta.*

Ključne reči: *Oštećenja, Konstrukcija, Energetska efikasnost, Sanacija.*

Abstract – *The paper consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part deals with the topic of fire safety of the perimeter walls of buildings. In the practical part a brief technical description of the facility of the elementary school "14. October" located in Draginac near Loznica, is presented. A macroscopic visual inspection of the building from its outer and inner sides was performed to register damage and defects, based on which the bearing capacity and durability were assessed. An energy efficiency calculation was made and the building's energy class was obtained. Measures for energy rehabilitation were proposed and energy efficiency was recalculated. The results of the origin and the energy renovated building were compared.*

Keywords: *Damages, Construction, Energy efficiency, Rehabilitation.*

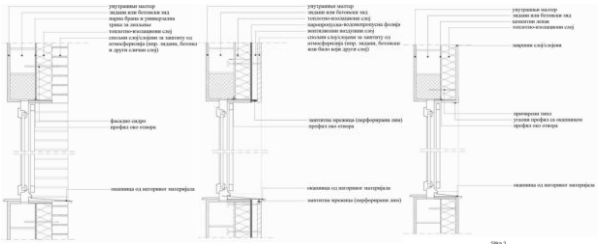
1.BEZBEDNOST OD POŽARA SPOLjAŠNjIH ZIDOVA ZGRADA

U savremenom građevinarstvu dosta se vodi računa o merama za zaštitu od incidentnh dejstava, posebna se obraća pažnja na incidentna dejstva požara. Građevinski proizvodi koji se koristi u zgradarstvu moraju da imaju performanse u vezi sa njegovim bitnim karakteristikama koje imaju uticajna performanse objekta tokom uobičajenog održavanja.

U odnosu na reakciju na požarno dejstvo materijali se mogu klasifikovati prema: gorivosti, odavanju toplote, bočnom širenju plamena, stvaranju gorivih kapi, stvaranju dim i slično.

Prema pravilniku o tehničkim zahtevima bezbednosti od požara spoljnih zidova [1] postoje tri vrste spoljnih zidova (koji su respektivno prikazani na Slici 1.):

1. Zidani ili betonski zidovi sa toplotno izolacionim slojem i spoljnim zidanim, betonskim i drugim sličnim slojem za zaštitu od dejstva atmosferilija, bez ventilisanog vazdušnog sloja (međuprostora),
2. Zidani ili betonski zidovi sa toplotno izolacionim slojem i spoljnim zidanim, betonskim i drugim sličnim slojem za zaštitu od dejstva atmosferilija sa uključenim ventilisanim vazdušnim slojem (međuprostorom) i
3. Zidani ili betonski zidovi sa kontaktim toplotno-izolacionim sistemom



Slika 1 – *Vrste spoljašnjih zidova*

Prema Pravilniku o tehničkim zahtevima bezbednosti od požara spoljnih zidova [1] u zavisnosti od vrste zgrade, bruto građevinske površine, visine objekta, udaljenosti od susednih objekata i kapaciteta definisana je kategorija zgrade sa aspekta bezbednosti od požara. U našem slučaju objekat je kategorije V2 kao zgrada javne namene sa visinom od 15-22 m. U zavisnosti od kategorije zgrade i odabrane vrste spoljnog zida, propisuju se najmanje karakteristike reakcije materijala na požar. Žaštita od požara je obuhvata aktivnu zaštitu od požara (detekcija i suzbijanje) i pasivnu zaštitu od požara (zasniva se na zaštita konstrukcije od požara i podelu na požarne sektore i omogućava bezbednu evakuaciju svih osoba iz objekta i ulazak vatrogasnih ekipa)

2. TEHNIČKI OPIS OBJEKTA

Osnovna škola (8 odeljenja nižih i 16 odeljenja viših razreda) „14. Oktobar” u selu Dragincu, opština Loznica, predmeta istraživanja u ovom radu. Zgrada ima memorijalni karakter i zbog toga je dobio menumentalne karakteristike. Objekat ima pet nivoa (etaža):

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

- Nivo 1 sadrži kancelarije uprave i administracije, hol za učenike i prostorije za pomoćne radnike;
- Nivoi 2, 3 i 4 sadrže učionice u kojima se odvija nsatava i kabinete nastavnika;
- Nivo 5 predstavlja salu za fizičko vaspitanje sa odgovarajućim svlačionicama.

Predmet ovog rada su nivoi 1 i 2 koji imaju ukupnu neto površinu od 1.361,84 m^2.

Noseća konstrukcija objekta je okvirnog sistema, bez zidnih platana za ukrućenje. Okviri su postavljeni u oba ortogonalna pravca na rastojanju od 7,2 m i 3,0 m u X-pravcu i 7,5 m i 2,4 m u Y-pravcu.

Noseći elementi su AB stubovi, AB grede, AB pune međuspratne ploče za veće raspone i AB sitnorebraste tavanice - tipa TM za manje raspone, dok su kose krovne površine izrađene od običnog ili lepljenog-lameliranog drveta.

3. MAKROSKOPSKI VIZUELNI PREGLED (NIVOI 1 I 2)

3.1. Vizuelni pregled spoljašnjeg dela objekta

Vizuelnim preglednom obuhvaćene su sva četiri spoljašnja zida objekta, kao i krov (kos krov i ravan krov).

Vizuelnim pregledom uočena su oštećenja: mrlje od vlage na površini plafona i zidova; ljuskanje i otpadanje završnog dekorativnog premaza na plafonima i zidovima; krunjenje površinskog sloja maltera sa zidova; mehanička oštećenja betona, opeke i crepova usled prodora instalacija i vandalizma, otpadanje cementnog kamena i ogoljavanje zrna agregata usled dejstva mraza; korozija armature, pucanje, odvajanje i otpadanje zaštitnog sloja betona zbog korozije armature; pukotine na spoju različitih materijala; lišajevi, mahovina i biljke (biološka korozija).

Najveći broj oštećenja uočen je na zapadnoj fasadi. Korozija armature i pucanje, odvajanje i otpadanje zaštitnog sloja betona usled korozije armature su karakterističa oštećenja zapadne fasade (Slika 2).

Slika 2 - *Korozija armature; Pucanje, odvajanje i otpadanje zaštitnog sloja betona usled korozije armature*

Vizuelnim pregledom krova uočen je veliki broj mehaničkih oštećenja crepova, kao i biološka korozija oluka.

3.2. Vizuelni pregled unutrašnjeg dela objekta

U unutrašnjosti objekta zabeležen je veći broj oštećenja koja su uglavno posledica:

1. procurivanja vode: mrlje od vlage na površini plafona i zidova, ljuskanje i otpadanje završnog dekorativnog premaza na plafonima i zidovima i krunjenje površinskog sloja maltera sa plafona i zidova (Slika 3).

Slika 3 – *Ljuskanje i otpadanje završnog dekorativnog premaza i maltera sa plafona usled procurivanja vode*

2. mehaničkih dejstava; mehanička oštećenja zidova, stubova i ploča su posledica postavljanja i prodora instalacija, vandalizma i korišćenja objekta.

3.3. Zaključak

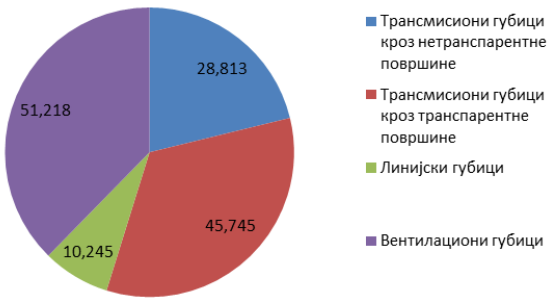
Na osnovu rezultata detaljnog vizuelnog pregleda zaključeno je da registrovana oštećenja i defekti ne utiču na stabilnost i nosivost noseće konstrukcije, dok su trajnost i upotrebljivost objekta smanjeni.

4. PRORAČUN ENERGETSKE EFIKASNOSTI (NIVOI 1 I 2)

Elaborat energetske efikasnosti zgrade osnovne škole je urađen prema važećem Pravilniku o energetskoj efikasnosti zgrada, „Službeni glasnik RS“ br. 061/2011. U okviru Elaborata energetske efikasnosti urađen je kompletan proračun provođenja toplote građevinskih elemenata koji čine termički omotač zgrade. Termički omotač objekta je sačinjen od netransparentnih i transparentnih površina podeljenih na više pozicija. U okviru netransparentnih sklopova definisano je pet pozicija spoljašnjih zidova, pet pozicija podova na tlu i dve pozicije krova (jedan kos krov i jedan ravan krov), dok je u okviru transparentnih površina definisano šesnaest pozicija prozora i pet pozicija vrata. U Tabeli 1 date su vrenosti koeficijenta prolaza toplote U, nezavisno za svaku poziciju, maksimalno dozvoljena vrednost koeficijenta prolaza toplote Umax, kao i komentar da li je koeficijent prolaza toplote manji od odgovarajuće dozvoljene vrednosti.

Elementi termičkog omotača su, pored uslova za prolaz toplote, morali da zadovolje i uslove vezane za difuziju vodene pare, isušenje konstrukcije, tačku rose i letnju stabilnost (faktor prigušenja amplitude oscilacija temperature ν i kašnjenje oscilacije temperature η).

Proračunom su obuhvaćeni i toplotni gubici koji su prikazani na Slici 4.



Slika 4 – *Ukupni toplotni gubici*

Položaj	Oznaka	U (W/m^2K)	U (W/m^2K)	Uslov
Spoljašnji zid	SZ-1	0,564	0,400	**NE**
	SZ-2	0,560	0,400	**NE**
	SZ-3	0,606	0,400	**NE**
	SZ-4	0,356	0,500	**DA**
	SZ-5	0,354	0,500	**DA**
Pod na tlu	P-1	0,332	0,400	**DA**
	P-2	0,763	0,400	**NE**
	P-3	0,892	0,400	**NE**
	P-4	0,376	0,400	**DA**
	P-5	0,354	0,400	**DA**
Krov	RK	0,706	0,200	**NE**
	KK	0,490	0,200	**NE**
Prozori	PR-1	3,001	1,500	**NE**
	PR-2	1,872	1,500	**NE**
	PR-3	3,018	1,500	**NE**
	PR-4	2,959	1,500	**NE**
	PR-5	3,041	1,500	**NE**
	PR-6	3,055	1,500	**NE**
	PR-7	2,738	1,500	**NE**
	PR-8	2,795	1,500	**NE**
	PR-9	2,760	1,500	**NE**
	PR-10	2,577	1,500	**NE**
	PR-11	2,927	1,500	**NE**
	PR-12	3,053	1,500	**NE**
	PR-13	3,052	1,500	**NE**
	PR-14	3,074	1,500	**NE**
	PR-15	2,893	1,500	**NE**
	PR-16	2,678	1,500	**NE**
Spoljašnja vrata	VR-1	1,828	1,600	**NE**
	VR-2	1,837	1,600	**NE**
	VR-3	2,831	1,600	**NE**
	VR-4	2,805	1,600	**NE**
	VR-5	2,885	1,600	**NE**

Tabela 1 – *Pregled koeficijenata prolaza toplote kroz termički omotač*

Na osnovu dijagrama sa slike 4 zaključeno je da se najveći deo gubitaka ostvaruje kroz transparentne i netrensparentne površine. Za objekat su izračunati i toplotni dobici, na osnovu kojih se određena ukupna potrebna energije za grejanje za sistem koji radi bez prekida, kao i po mesecima. Objekat je ovim proračunom svrstan u energetski razred: E

5. MERE ZA UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKANOSTI I PRORAČUN ENERGETSKE EFIKANOSTI SANIRANOG STANJA OBJEKTA (NIVOI 1 I 2)

5.1. Mere za unapređenje energetske efikasnosti objekta

Da bi se prilikom sanacije postojećeg objekta poboljšale energetske performanse i zadovoljili uslovi određeni važećim standardima iz domena energetske efikasnosti zgrada, na postojećem objektu se predviđaju određene mere. Na spoljašnjim zidovima, sa spoljašnje strane (negrejana strana), se skida dekorativni premaz i sloj maltera, a zid se oblaze "Ytong" pločama na bazi gas betona (po licenci Xella firme) potrebne debljine da bi se zadovoljili termički uslovi. Termičkom sanacijom je predviđena i zamena stare termoizolacije kosog krova i postavljenje nove termoizolacije na bazi mineralne vune, gde bi tvrdo presovana kamena vuna u potpunosti popunila prostor između rogova, a meko presovana staklena vuna bi ispunila prostor ispod rogova, ka grejanom prostoru, u potrebnoj debljini da se zadovolje termomehanički uslovi. Takođe se, prema grejanom prostoru, u cilju sprečavanja prodora vodene pare u mineralnu vunu postavlja se parna brana, dok se sa gornje strane (ka negrejanoj strani) vune postavlja paropropusna-vodonepropusna folija, kako bi se sprečio prodor vlage.

Na ravnom krovu se predviđa skidanje površinskih slojeva zaključno sa termoizolacijom i postavljanje nove termoizolacije na bazi ekstrudiranog polistirena (stirodur). Kao završna obrada krova usvajena je krovna membrana koja se lepi na sloj cementne košuljice.

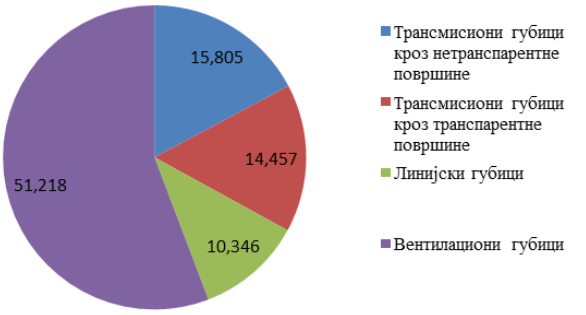
Sva stara spoljašnja stolarija sa drvenim ramovima je zamenjena novom stolarijom sa PVC ramovima i dvostrukim niskoemisioni staklom 4+12+4 mm sa ksenonom.

Ponovo je sproveden proračun energetske efikasnosti prema [2], za novoprojektovane sklopove (Tabela 2)

Položaj	Oznaka	U (W/m^2K)	U (W/m^2K)	Uslov
Spoljašnji zid	SZ-1	0,379	0,400	**DA**
	SZ-2	0,378	0,400	**DA**
	SZ-3	0,399	0,400	**DA**
	SZ-4	0,356	0,500	**DA**
	SZ-5	0,354	0,500	**DA**
Pod na tlu	P-1	0,332	0,400	**DA**
	P-2	0,763	0,400	**NE**
	P-3	0,892	0,400	**NE**
	P-4	0,376	0,400	**DA**
	P-5	0,354	0,400	**DA**
Krov	RK	0,188	0,200	**DA**
	KK	0,189	0,200	**DA**
Prozori	PR-1	0,146	1,500	**DA**
	PR-2	1,872	1,500	**NE**
	PR-3	1,117	1,500	**DA**
	PR-4	1,104	1,500	**DA**
	PR-5	1,121	1,500	**DA**
	PR-6	1,092	1,500	**DA**
	PR-7	1,238	1,500	**DA**
	PR-8	1,253	1,500	**DA**
	PR-9	1,249	1,500	**DA**
	PR-10	1,253	1,500	**DA**
	PR-11	1,188	1,500	**DA**
	PR-12	1,112	1,500	**DA**
	PR-13	1,104	1,500	**DA**
	PR-14	1,138	1,500	**DA**
	PR-15	1,102	1,500	**DA**
	PR-16	1,186	1,500	**DA**
Spoljašnja vrata	VR-1	1,828	1,600	**NE**
	VR-2	1,837	1,600	**NE**
	VR-3	1,164	1,600	**DA**
	VR-4	1,176	1,600	**DA**
	VR-5	1,228	1,600	**DA**

Tabela 2 – *Pregled koeficijenata prolaza toplote kroz termički omotač saniranog objekta*

Proračun građevinske fizike saniranog objekta je ekvivalentan proračunu stvarnog stanja objekta. Dobijeni parametri za sanirani objekat su dosta povoljniji što se najbolje ilustruje kroz prikaz toplotnih gubitaka sanirane zgrade, gde je uočljivo smanjenje transmisionih gubitaka i kroz netransparentne površine i kroz transparentne površine (slika 5).



Slika 5 – *Ukupni toplotni gubici saniranog objekta*

Za sanirani objekat izračunati su toplotni dobici na osnovu čega se računa ukupna potrebna energije za grejanje za sistem koji radi bez prekida, kao i po mesecima.

Sanirana zgrada je ovim proračunom svrstana u energetski razred: D.

5.2. Ostale mere sanacije koje je potrebno izvršiti nakon mera za unapređenje energetske efikasnosti

Osim nabrojanih mera za unapređenje energetske efikasnosti potrebno je izvršiti i dodatne mere sanacije:

(1) reparacija delova sa vidljivom armaturom,

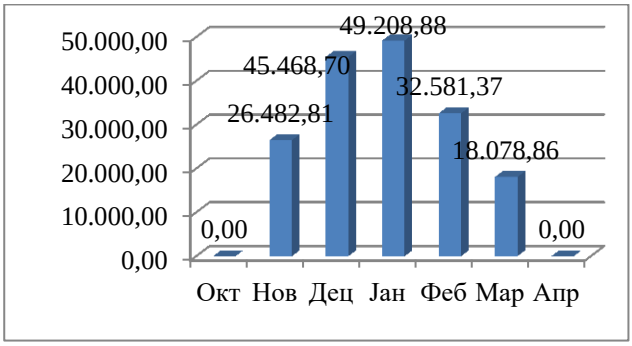
(2) ukanjanje biološke korozije koja se sanira peskarenjem i fungicidima,

(3) kompletna zamena crepa na kosim krovovima.

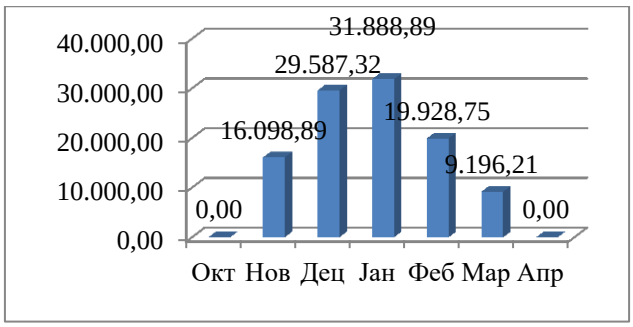
Unutrašnjost objekta zahteva intervenciju malteraških i molersko-farbarskih radova kako bi se sanirala mehanička oštećenja i tragovi procurivanja, lamperija se zamenjuje gips-kartonskim pločama.

6. ZAKLJUČAK

Jedan objekat se smatra da je uspešno saniran ako mu se energetski razred podigne za jedan nivo. Navedene mere su pozitivno uticale i energetski razred je podignut za jedan razred. Zaključujemo da je sanacija uspešno izvršena, dok je godišnja potrošnja energije za grejanje znatno smanjena nakon sanacije. Na slikama (Slika 7 i Slika 8) prikazane su potrebne količine energije za zagrevanje postojećeg i saniranog objekta po mesecima.



Slika 6. – *Dijagram potrebne energije za grejanje po mesecima postojećeg objekta*



Slika 7. – *Dijagram potrebne energije za grejanje po mesecima saniranog objekta*

Narednom tabelom (Tabela 3) se prikazuju godišnje potrebe energije za grejanje pri i nakon sanacije objekta

Sanacija	GP kWh/a	SGPE kWh/m^{2}a	RGPE %	Razred
pre	171.820,63	137,640	183,520	E
posle	106.700,07	85,474	113,965	D

Tabela 3. *Pregled potrebne energije za grejanje objekta pre i posle sanacije*

6. LITERATURA

[1] Pravilnik o tehničkim zahtevima bezbednosti od požara spoljnih zidova,"Sl.glasnik RS", br. 59/2016, 36/2017, 6/2019 Beograd

[2] Inženjerska komora Srbije: Pravilnik o energetskoj efikasnosti zgrada, "Sl.glasnik RS", br. 61/2011, Beograd

[3] Malešev M., Radonjanin V.: Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

[4] Radonjanin V., Malešev M.: Sanacija betonskih konstrukcija, Skripta sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Kratka biografija:

Aleksandar Tadić rođen u Novom Sadu 10.03. 1995. godine. Osnovne akademske studije završio na Fakultetu tehničkih nauka 2019. Godine iz oblasti Građevinarstvo (Konstukrivni smer). Nakon čega je upisao master akademske studije, smer konstrukcije, Diplomirao je radom iz oblasti Procena stanja i sanacija betonskih konstukcija Master rad je obranjen u 2023. godini.
kontakt: tadica95@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 624.05
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG02Aleksandric

POREĐENJE UTICAJA OD VERTIKALNOG SAOBRAĆAJNOG OPTEREĆENJA NA ARMIRANO-BETONSKOM PREDNAPREGNUTOM MOSTU NA DVA POLJA

COMPARISON OF THE INFLUENCE OF VERTICAL TRAFFIC LOAD ON A REINFORCED CONCRETE PRESTRESSED BRIDGE ON TWO SPANS

Lazar Aleksandrić, Andrija Rašeta, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – *U ovom radu su upoređeni rezultati dobijeni od vertikalnog opterećenja na armirano-betonskom mostu korišćenjem evropskih normi EN 1991-2 i korišćenjem srpskog Pravilnika o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova iz 1991. godine.*

Ključne reči: *betonski most, saobraćajno opterećenje*

Abstract – *This paper compares the results obtained by applying vertical loads to a reinforced concrete bridge on two spans using the European standard EN 1991-2 and Serbian standards for traffic loads.*

Keywords: *concrete bridge, traffic load*

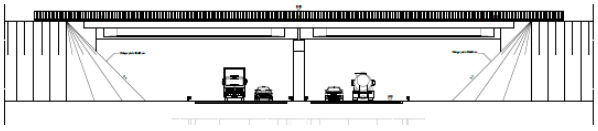
1. UVOD

Mostovi su specifična i posebna oblast tehnike i građevinarstva. Mostovina nazivamo građevine za bezbedno prevođenje saobraćajnica i vodova različitih namena preko prirodnih i veštačkih prepreka. Na mostove deluju različita opterećenja gde je pored sopstvene težine najdominantnije saobraćajno opterećenje.
Ovo opterećenje je promenljivo tokom vremena, sa uticajem različitih dinamičkih efekata i različitim kombinacijama dejstava.
Uzimajući u obzir iskustvo i procenu daljeg razvoja saobraćajnih vozila i njihovih dejstava, napravljena su tipska li proračunska opterećenja koja se koriste za proračunavanje i dimenzionisanje noseće konstrukcije mosta.
Kao posledica razvoja vozila, saobraćajnica i saobraćajnih uslova uopšte dolazi do promene tipskih vozila, kontinualnog saobraćajnog opterećenja i njihove raspodele na mostu. Predmet ovog rada je statička analiza armirano-betonskog mosta na dva polja usled vertikalnog saobraćajnog opterećenja po domaćim propisima i evropskim normama.
Kao vertikalna opterećenja uzimaju se Model opterećenja 1 (LM1) kao osnovni model vertikalnog opterećenja prema Eurokodu, odnosno šema opterećenja 600 prema domaćem Pravilniku.

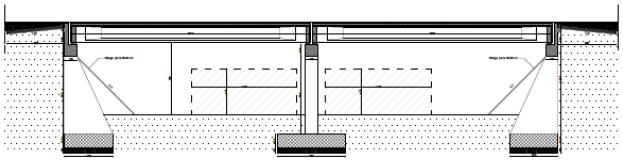
NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Andrija Rašeta.

2. TEHNIČKI OPIS MOSTA

Projektovan je nadvožnjak na dva polja po 25+25 m iznad autoputa, ukupne dužine sa krilnim zidovima 57,90 m. Ukupna širina mosta iznosi 13,50 m od čega je širina kolovoza 8,0 m (2x3,5 m + 2x0,5 m), a širina pešačkih staza, zajedno sa ivičnim elementom i zaštitnom barijerom do ivičnjaka iznosi 2x2,75 m.
Statički sistem mosta je prosta greda koja se preko ležišta oslanja na stubove. Poprečni presek mosta čine prednapregnuti „I“ nosači sa širokom gornjom flanšom koja ujedno obezbeđuje i oplatu za betoniranje AB ploče debljine 25 cm.
Nosači su konstantne visine od 170 cm, širina gornje flanše iznosi 220 cm, širina donje flanše iznosi 60 cm, a širina rebra 20 cm. Poprečni nosači nalaze se samo iznad oslonaca i dimenzija su 40x160 cm.
Kolovoz je projektovan sa obostranim poprečnim nagibom od 2,0% koji se obezbeđuje slojem betona promenljive debljine preko hidroizolacije nakon čega se vrši asfaltiranje. U podužnom pravcu formiran je nagib od 1,50%.
Postoje dve vrste ležišta, i to:
- Pokretna ležišta u pravcu mosta na obalnim osloncima,
- Nepokretna ležišta na srednjem osloncu.



Slika 1. *Bočni izgled mosta*



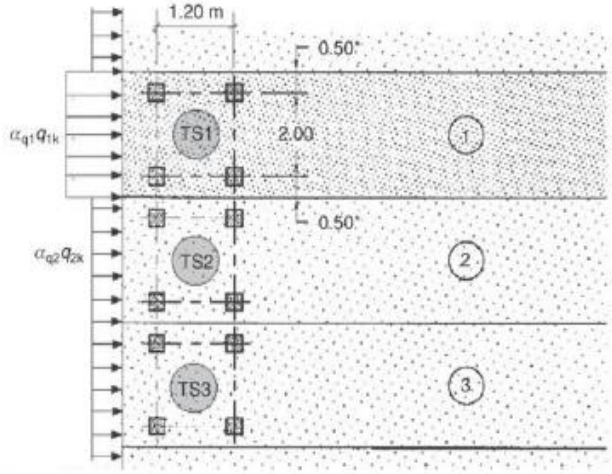
Slika 2. *Podužni presek*

3. SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE

3.1 EVROPSKI PROPISI – EN 1991-2 TRAFFIC LOADS ON BRIDGES

Norme koje su primenjivanje prilikom proračuna mosta koji je predmet ovog rada spadaju u norme koje se koriste za proračun drumskih mostova sa rasponima manjim od 200 m i širinom kolovoza manjom od 42 m. Širinom kolovoza smatra se unutrašnje rastojanje između ivičnjaka, i ona se deli na najveći ceo broj nominalnih traka.

Predviđaju se maksimalno tri saobraćajne trake širine od 2,7-3 m. Traka koja daje najnepovoljniji učinak označena je brojem 1 a traka koja daje drugi najnepovoljniji učinak označena je brojem 2.



Slika 3. *Izgled Modela opterećenja 1*

Model opterećenja 1 je glavni model vertikalnog saobraćajnog opterećenja koji se sastoji od dvoosovinskog opterećenja od koncetrisanih sila i jednako raspodeljenog opterećenja.

Takođe pokriva uticaje od teških i putničkih vozila. Svaka od traka opterećuje se sa po 2 osovinska tereta Qik koja se nalaze na među-sobnom rastojanju od 1,2 m, sa razmakom točkova od 2 m, dok su dimenzije tih točkova 40x40 cm. U jednoj traci može biti samo jedno dvoosovinsko opterećenje, koje se ravnomerno deli na dva točka.

Kontinualno opterećenje raspoređuje se samo u nepovoljnim delovima, koji su identifikovani kao takvi osovinskim opterećenjem ili takozvanim tandem sistemima, na površini koja zahvata trake i preostali deo.

Za opterećenje jedne osovine uzima se intenzitet od 300 kN za Traku1, 200 kN za Traku 2 i 100 kN za Traku 3.

Za raspodeljeno opterećenje uzima se vrednost od 9 kN/m2 za Traku 1, i opterećenje od 2,5 kN/m2 za preostalu površinu. Sva opterećenja su već pomnožena dinamičkim koeficijentom.

Svaka od navedenih sila množi se odgovarajućim koeficijentom usklađivanja αQ i αq, koje može propisati svaka država zasebno.

Ovi faktori zavise od intenziteta saobraćaja i brojčanog stanja traka na mostu i mogu se usvojiti u vrednostima od 0,8-1,0.

3.2 DOMAĆI PROPISI – PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA ODREĐIVANJE VELIČINA OPTEREĆENJA MOSTOVA IZ 1991. GODINE

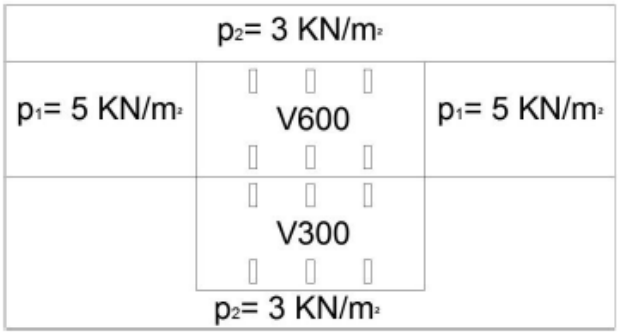
Prema Pravilniku o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova iz 1991. godine drumski mostovi se dele na tri kategorije prema značaju puta:

- I kategorija – mostovi na auto putevima (merodavna šema 600+300)
- II kategorija – mostovi na magistralnim i regionalnim putevima i gradskim saobraćajnicama (merodavna šema 600)
- III kategorija – mostovi na svim ostalim putevima (merodavna šema 300+300 ili šema 300, u zavisnosti od širine mosta)

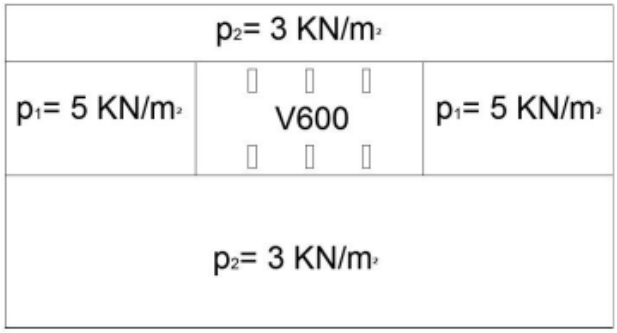
Kolovoz čini glavna traka, širine 3 m i prostor izvan glavne trake. Glavna traka postavlja se u najnepovoljniji položaj na mostu i paralelna je sa osom mosta.

Ukoliko je konstrukcija mosta konstantna celom dužinom, odnosno jedinstvena u svim presecima duž konstrukcije, na mostu postoji samo jedna glavna traka.

Proračun se sprovodi prema računskoj šemi opterećenja mosta, u zavisnosti od kategorije predmetnog mosta. Tipskim vozilom smatra se vozilo jedinstvenog oblika, dimenzija 6x3 m u podužnom pravcu, sa rastojanjem točkova od 0,5 m od ivica u poprečnom smeru, na rastojanjima od 1,5 m u podužnom smeru. Smatra se da vozilo ima 6 točkova, sa dimenzijama 60x20 cm za vozilo V600 i 40x20 cm za V300.



Slika 4. Šema 600+300



Slika 5. Šema 600

U glavnu traku postavlja se tipsko vozilo ili najteže vozilo ukoliko ih ima više. Tipsko vozilo deluje sa 6 koncentrisanih sila na mestima točkova od po 100 kN za vozilo V600 i 50 kN po točku za vozilo V300.

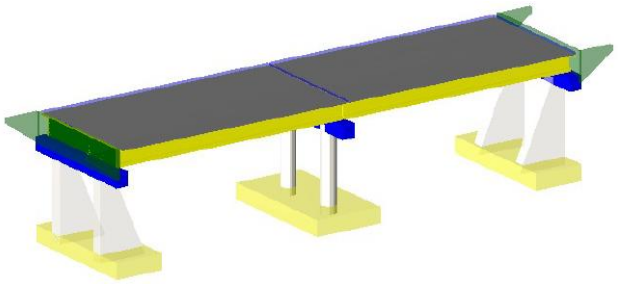
Kontinualna opterećenja od 5 kN/m2 i 3 kN/m2 postavljaju se u glavnu traku i na svu preostalu površinu. Sva opterećenja u glavnoj traci množe se koeficijentom dinamičkosti, koji zavisi od raspona mosta.

4. NUMERIČKI MODEL

Za analizu opterećenja korišćen je programski softver „TOWER“. Konstrukcija nadvožnjaka modelirana je linijskim i površinskim konačnim elementima.

Kolovozna ploča je modelirana kao površinski nosač debljine d=25 cm, koja se oslanja na glavne nosače i sa njima je kruto povezana, te se u poprečnom pravcu

ponaša kao kontinualni nosač oslonjen na šest oslonaca (glavni nosači) sa prepustima na obe strane.



Slika 6. *3D model konstrukcije u programu „Tower“*

Na model su naneta opterećenja proračunata prema odgovarajućim propisima.
Prema Evrokodu, predmetnom mostu širine kolovoza od 8m odgovaraju 2 trake opterećene standardnim raspodeljenim opterećenjem i osovinskim opterećenjem pomnoženim koeficijentima prilagođavanja.
Za slučaj opterećenja uzima se Model opterećenja 1 (LM1).
U narednoj tabeli nalazi se preračunato opterećenje sa koeficijentima redukcije.

Tabela 1. Redukovane vrednosti opterećenja

Trake	$Q_{ik} * \alpha_Q$ [kN]	Naležuća površina [m^2]	Q_{ik-r} [kN/m^2]	$\frac{Q_{ik-r}}{2}$ [kN/m^2]
Traka 1	240,0	0,6561	365,80	**182,90**
Traka 2	160,0	0,6561	243,90	**121,95**

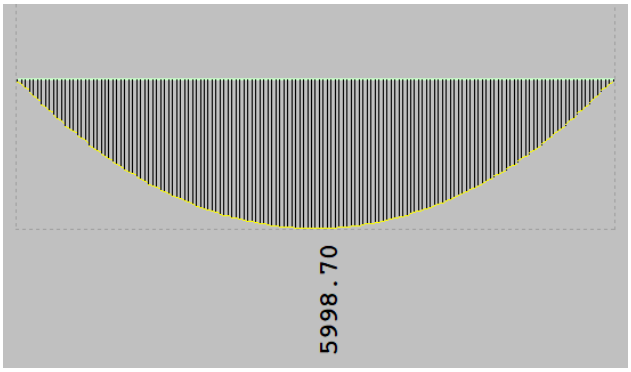
Opterećenje na pešačkim stazama i ostatku mosta iznosi 2,5 kN/m^2.
Za saobraćajno opterećenje mogu se definisati dva sistema opterećenja, ovo proizilazi iz toga da na kolovozu postoje dve trake (traka1 i 2), i napravljeni su slučajevi opterećenja kada je prvo jedna najopterećenija, a zatim druga (prvo je jedna od njih traka 1, a zatim ona druga).
Jedan slučaj obuhvata tandem sistem pokretnih sila (raspodeljene na površinu) i statičkog raspodeljenog opterećenja duž traka.
Prema domaćem pravilniku predmetni most se smatra mostom II kategorije čija je predviđena proračunska šema V600. Koeficijent dinamičnosti je kd=1,2.
P=120 kN(redukovana sila pokretnog opterećenja)
p_1= 6kN/m^2(kontinualno raspodeljeno opterećenje ispred i iza vozila)
p_2=3kN/m^2(opterećenje na ostatak površine mosta)
Pokretno opterećenje prema evropskim propisima modelirano je kao 4 sile u po dve trake na rastojanju od 2 m sa različitim vrednostima, dok je po domaćim propisima modelirano kao 6 sila na razmaku od 1,5 m u pravcu kretanja vozila a u drugom pravcu na rastojanju od 2 m.
Dispozicija opterećenja u programu sastoji se od pokretnog i raspodeljenog opterećenja.
Na model su naneta opterećenja od vertikalnog saobraćajnog opterećenja po evropskim i domaćim propisima i dobili smo uticaje koji će biti prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Vrednosti momenta savijanja

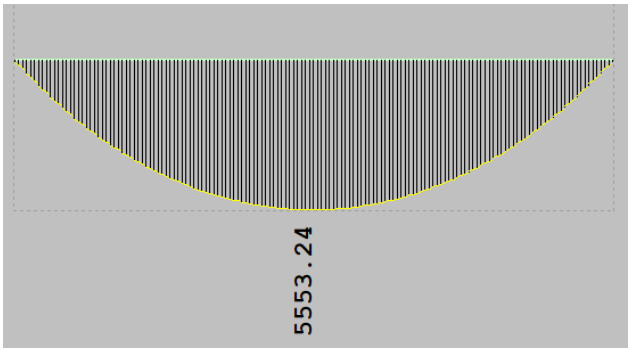
	LM1	V600
Ekstremna vrednost momenta savijanja (kNm)	5998,70	5553.24

5. ZAKLJUČAK

Za poređenje prema domaćem pravilniku ovaj most je svrstan u II kategoriju i za njegovo proračunavanje koristila se šema V600.
Poređenjem ova dva pravilnika možemo primetiti da bi za proračun ovog mosta po Evrokodu bila potrebna dodatna ojačanja u odnosu na domaći pravilnik, gledano prema graničnim stanjima nosivosti i upotrebljivosti.



Slika 7. *Dijagram momenta savijanja LM1*



Slika 8. *Dijagram momenta savijanja V600*

Jedno od osnovnih razlika ova dva pravilnika jeste izgled tipskog vozila, dok je druga značajna razlika ta da se u domaćem Pravilniku dinamičkim koeficijentom množe samo opterećenja u glavnoj traci, dok je prema Evrokodu taj koeficijent već uračunat. Prema domaćem Pravilniku mostove delimo na tri kategorije, dok se u Evrokodu koristi takozvani koeficijent usklađivanja α koji pravi razlike u uticajima od 0,8-1,0.
Primeti se da su evropske norme strožije od naših i prate razvoj saobraćajnog opterećenja, odnosno prate povećanje brzine vozila kao i dinamičke uticaje na most.
Direktan uticaj na dimenzionisanje mosta ima izbor opterećenja, a samim tim primeti se uticaj na ekonomski aspekt.

Ukoliko bi se ovaj predmetni most računao po srpskim propisima, zahtevala bi se manja količina armature u obe zone.

6. LITERATURA

[1] PRŽULJ M.: Mostovi, Udruženje „Izgradnja“, Beograd, 2014.
[2] RADIĆ J.: Konstruiranje mostova, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2005.
[3] EUROCODE 1 (Part 2) – EN 1991-2 Actions on structures: Traffic loads on bridges, European Commettee for Standardization, Bruxelles, September 2003.
[4] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA ODREĐIVANJE VELIČINE OPTEREĆENJA MOSTOVA, Sl. 1/91.
[5] www.radimpex.rs

Kratka biografija:

Lazar Aleksandrić rođen je u Kraljevu 1993. godine. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka –Građevinski odsek u Novim Sadu 2018. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Betonski mostovi brani septembra 2023. godine.

Prof. dr Andrija Rašeta rođen je u Novom Sadu 1973. god. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka –Građevinski odsek u Novim Sadu 2002. godine. Magistrirao na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu 2010. godine. Doktorirao na Fakultetu tehničkih nauka 2014. godine.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 624.05
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG03Ilic

PLANIRANJE IZGRADNJE STAMBENO POSLOVNOG OBJEKTA SA IZBOROM NAJPOVOLJNIJEG TIPA FASADNOG ZIDA NA NIVOU POTKROVLJA

PLANNING THE CONSTRUCTION OF A RESIDENTIAL AND COMMERCIAL BUILDING WITH THE CHOICE OF THE MOST FAVORABLE TYPE OF FACADE WALL AT THE ATTIC LEVEL

Stefan Ilić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – *Rad se sastoji iz praktičnog i teorijskog dela. U teorijskom delu opisan je objekat,tehnički uslovi građenja kao i sama tehnologija građenja objekta dok je u praktičnom delu izvršen odabir najpovoljnijeg tipa fasadnih sistema za navedeni objekat. Tipovi fasadnih rešenja koji su uzeti u razmatranje su: ventilisana fasada sa kompozitnim pločama, sendvič panel i kontaktna (demit) fasada. Kriterijumi po kome je rađen odabir fasadnog rešenja su finansijski kriterijum,vremenski a zatim i kriterijum energetske efikasnosti objekta.*

Ključne reči: *Ventilisana fasada, demit fasada, sendvič panel, energetska efikasnost*

Abstract – *The work consists of a practical and a theoretical part. The theoretical part describes the building, the technical conditions of construction, as well as the building technology itself, while the practical part selects the most favorable type of facade systems for the said building. Types of facade solutions taken into consideration are: ventilated facade with composite panels, sandwich panel and contact facade. The criteria used to select the facade solution are the financial criterion, the time criterion and then the criterion of the building's energy efficiency.*

Keywords: *Ventilated facade, contact facade, sandwich panel, energy efficiency*

1. VRSTE FASADA

1.1 Sendvič paneli

Sendvič paneli se koriste za oblaganje zidova i krovova. Sastoje se od termoizolacionog jezgra koje je sa obe strane obloženo limom. Sendvič panel je samonoseći elemenat objekta i koristi se kao ispuna i obloga. Noseći elementi u konstrukciji su najčešće čelični elementi na koje se sendvič paneli montiraju.Sendvič paneli se generalno dele po tipu termoizolacionog materijala tj. ispune koje sadrže kao jezgro. Tako imamo panele sa mineralnom vunom ili poliuretanskom penom. Razlike između različitih tipova sendvič panela ogledaju se u termičkim karakteristikama, zvučnoj izolaciji, otpornosti na vatru i težini.

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Peško.

Sendvič paneli imaju široku primenu zbog benefita koji su veliki u odnosu na standardne sisteme gradnje.
Činjenica da gradnja sendvič panelima ubrzava proces oblaganja objekta 4-5 puta daje im veliku prednost kod investitora, naročito pri gradnji objekata gde

je brzina završetka radova veoma bitna kao na primer kod fabrika, supermarketa i slično. Gradnja sendvič panelima je suva gradnja i nema potrebe za čekanjem dodatnih radova kako bi se proces završio, kao što bi u klasičnoj gradnji bili malterisanje, sušenje, gletovanje itd.

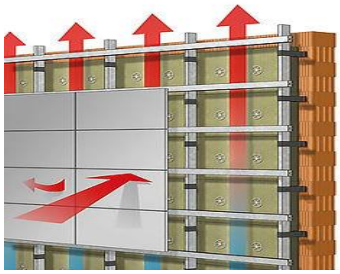
Sendvič paneli su dostupni u različitim debljinama koje zavise od debljine termoizolacionog sloja. Ono što ih klasifikuje u odlična rešenja jesu U-vrednosti koje uglavnom variraju od 0.22-0.43 W/m2K [1].

1.2. Ventilisana fasada sa kompakt pločama

Ventilirajuće fasade predstavljaju sistem obloga koji se montira sa prostorom za provetravanje između obloge i zida. Ovi fasadni sistemi se smatraju za najefektivniju izolacionu metodu za sve tipove stambenih i poslovnih objekata.

Razlozi koji doprinose popularnosti i širokoj primeni ovih sistema se ogledaju u odličnim temperaturnim karakteristikama, kao i eliminaciji svake vrste kondenzacije, što doprinosi izuzetno visokim termo-higrometrijskim performansama zgrade.

Nesmetana cirkulacija vazduha omogućava odvođenje vlage iz objekta. Takođe omogućava odvod vode koja eventualno može da prodre kroz spojnice fasadne obloge. Leti, sloj za ventilaciju, sprečava prodiranje toplote u unutrašnjost objekta, zimi predstavlja dodatni toplotni izolator. Ovi sistemi pružaju velike uštede energije, ne zahtevaju održavanje i dugotrajniji su u odnosu na druge sisteme fasade.



Slika 1. Izgled ventilisane fasade sa kompozitnim pločama

Dodatni benefit ostvaruje se efektom koji se dobija ukoliko se opredelimo za ovaj sistem, a to je između ostalog sam estetski izgled objekta koji dobija moderan izgled.

1.3. Kontaktna (demit) fasada

Demit fasada je najčešća vrsta fasade koja se postavlja kod nas. Razlog je niža cena u odnosu na neke druge fasade, ali i brza i relativno laka ugradnja za fasadu koja pruža potreban komfor unutar objekta. Cena ovog sistema u odnosu na kvalitet koji pruža svakako je jedna od njegovih prednosti.

Demit fasada je sistem kontaktne fasade koja se sastoji iz slojeva lepka, termoizolacije, mrežice za armiranje i lepka za njeno postavljanje, kao i završnih slojeva koji služe za zaštitu od atmosferskih uticaja. Ime je dobila po jednom od proizvođača ovih fasadnih sistema – Demit iz Slovenije [2].

Demit fasada spada u vrstu kontaktne fasade – izolacioni materijal je pričvršćen direktno za zid. Najčešće je u pitanju stiropor. Zbog toga se često demit fasada naziva stiropor fasadom.

Poslednjih godina sve češće se koristi kamena vuna kao izolacioni materijal, jer ima brojne prednosti nad stiroporom, ali i višu cenu. U te prednosti spada odlična zvučna izolacija, negorivost kao i bolji efekat difuzije vodene pare tako da će objekat sa fasadom od kamene vune da "diše".

Slika 2. Izgled kontaktne (demit) fasade

2. ISTRAŽIVANJE

2.1 Predmet i ciljevi istraživanja

Predet ovog rada jeste planiranje izgradnje stambeno poslovnog objekta sa posebnim osvrtom na odabir najpovoljnijeg fasadnog sistema na nivou potkrovlja. Izbor najpovoljnijeg tipa fasadnog zida baziran je na tri kriterijuma : ekonomski kriterijum,utrošak vremena rada i kriterijum energetske efikasnosti.
Kriterijumi su rađeni za fasadne sisteme rađene sa kamenom vunom kao ispunom zbog kvaliteta života tj komfora u tom objektu kao i zbog same vatrootpornosti objekta.

2.2 Ekonomski kriterijum

Ekonomski kriterijum za sva tri tipa fasade rađen je na osnovu sagledavanja svih ekonomskih aspekata koji dovode do realizacije određenog tipa fasade.

Za fasadni zid rađen termopanelima uzeta je u obzir čelična podkonstrukcija sa svim pripremnim radovima, sečenjem, farbanjem i montažom. Zatim je u cenu uračunata sama nabavka kao i montaža termopanela sa svim pratećim limarskim pozicijama.

Za fasadni zid rađen u sistemu ventilirajuće fasade obložen „HPL"tj kompozitnim pločama prvo imamo troškove klasičnog zidanja giter blokom. Zatim montažu aluminijumske podkostrukcije za montažu kompakt ploča, zatim oblaganje zida kamenom vunom sa paropropusnom-vodonepropusnom folijom pa tek na kraju montažu samih kompozitnih ploča.

Za fasadni zid rađen u sistemu kontaktne (demit) fasade u troškovima koji su obrađeni prvo je u obzir uzeto zidanje giter blokom, zatim oblaganje objekta termičkom izolacijom (kamena vuna) zatim nanošenje lepka i nanošenje lepka i mrežice u drugom sloju.

U sve tipove fasade uračunata je radna snaga u skladu sa klasom radnika neophodnim za izvršenje određenih pozicija,takođe svi tipovi fasade su zbog komparativne analize rađeni u termičkoj izolaciji rađeni od kamene vune d=150 mm iste stišljivosti od 80kg/m3 kao i montaža i demontaža neophodne cevaste skele.

U tabeli 1. naveden jeodnos cena zasnovan na komparativnoj analizi u zavisnosti od fasadnog tipa obrađena u ovom radu .

TIP FASADNOG ZIDA	Troškovi izrade 1m2 fasade [€/m²]
Termoizolacioni (sendvič) paneli	80.69
Ventilirajuća (kopozitna) fasada	189.49
Kontaktna (demit) fasada	95.36

Tabela 1. Troškovi izrade u zavisnosti od tipa fasade

2.3 Vremenski kriterijum

Vremenski kriterijum pri odabiru najpovoljnije fasade je pokazatelj na osnovu komparativne analize koji definiše kojom brzinom bi se fasada završila zavisno od tipa za jedinicu norma časa po metru kvadratnom.

U tabeli 2. dat je prikaz utroška vremena za izradu određenog tipa fasadne obloge.

TIP FASADNOG ZIDA	Troškovi izrade 1m2 fasade [nč/m²]
Termoizolacioni (sendvič) paneli	1.753
Ventilirajuća (kopozitna) fasada	5.16
Kontaktna (demit) fasada	4.523

Tabela 2. Utrošak vremena izrade u zavisnosti od tipa fasade

2.4 Energetska efikasnost

Kako je po Pravilniku o energetskoj efikasnosti zgrada za novogradnju, koeficijent toplotne provodljivosti (U) maksimalno 0.30 W/m2K [3]. Minimalna debljina termopanela koja zadovoljava je 150 mm. Što se tiče same provodljivosti toplote nešto povoljniji koeficijent poseduju termopaneli sa takozvanom „IPN“ ispunom koja je na bazi poliuretana ali su po životni prostor dosta povoljnije termo ispune i sama termoizolacija na bazi kamene vune pa je zbog toga projektovana debljina termoizolacije za našu analizu 150mm. Prilikom projektovanja i izvođenja radova, pri izboru materijala vodilo se računa i o njihovoj otpornosti sa aspekta protivpožarne zaštite.

Što je tiče odnosa termičke provodljivosti razmatranih fasadnih tipova u obzir su uzeti svi slojevi fasade koji poseduju termička svojstva a sam obračun termičke provodljivosti rađen je u programu „URSA“ za proračun koeficijenta toplotne provodljivosti.

U tabeli 3. navedeni su koeficijenti toplotne provodljivosti (U).

TIP FASADNOG ZIDA	Koeficijent toplotne provodljivosti U[W/m²K]
Termoizolacioni (sendvič) paneli	0.28
Ventilirajuća (kopozitna) fasada	0.27
Kontaktna (demit) fasada	0.253

Tabela 3. Koeficijenti toplotne provodljivosti u zavisnosti od tipa fasade

3. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada bilo je planiranje izgradnje potkrovlja objekta, na bazi izbora optimalnog tipa fasadnih elemenata. Analizirani su tri tipa fasadnih elemenata i to: TIP 1 – termo paneli, TIP 2 – ventilirajuća fasada i TIP 3 – kontaktna (demit) fasada.

Kriterijumi na osnovu kojih je vršen izbor su: ekonomski (cena materijala i rada) [€/m²], utrošak vremena za izradu [Nč/m²]; [dana] i pokazatelj energetske efikasnosti (toplotni prenos) [W/m²K].

Rezultati analize cene materijala i izrade, utroška vremena i energetske efikasnosti, pokazali su da je fasadni zid TIPa 1 – od termo panela optimalno rešenje za posmatrani objekat. Analiza je pokazala da je zid TIP 1 – od termo panela bio u dva slučaja najbolje rangiran dok je za koeficijent toplotne provodljivosti jako malom razlikom bio rangiran kao treći što ga zbog velike razlike u brzini montaže klasifikuje kao najoptimalnije rešenje.

Dobijeno optimalno rešenje opravdava široku primenu ovih fasadnih elemenata kod ovog i sličnih objekata.

4. LITERATURA

[1]-https://www.kingspan.com/rs/sr-latn-rs/grupe-proizvoda/izolovani-krovni-i-zidni-sistemi

[2]-https://izolacija.rs/izolacija-fasade-stiroporom-demit-fasada/

[3]-Grupa autora: NORMATIVI I STANDARDI RADA U GRAĐEVINARSTVU, "Građevinska knjiga", Beograd, 2004

Kratka biografija:

Stefan Ilić rođen je u Kragujevcu 1993. god. Master studije na Fakultetu tehničkih nauka na departmanu za građevinarstvo-organizacija i tehnologija građenja upisao je 2020.godine .Do današnjeg dana redovno je zaposlen u građevinskom preduzeću Trnići d.o.o. u Beogradu u trajanju od 4 godine. Kompanija koja u svom portfoliju ima bitne reference kako u regionu tako i inostranstvu.
kontakt: stefan.trnicidoo@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 624.05
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG04Cumic

ANALIZA EMISIJA CO_2 U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI UZ POMOĆ BIM TEHNOLOGIJE

ANALYSIS OF CO_2 EMISSIONS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY USING BIM TECHNOLOGY

Stefan Čumić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – *Predmet ovog rada jeste implementacija BIM-a u analizi gasova efekta staklene bašte u svim fazama projekta. Analzirane su sve faze od projektovanja pa do same eksploatacije objekta. Za analizu gasova korišćen je BIM program gde je napravljen model postojeće kuće, uzeti su u obzir svi faktori u fazi meterijalizacije, a ta faza obuhvata prozivodnju elemenata, transport materijala i izgradnju na licu mesta.*

Ključne reči: *Zbornik FTN, Studentski radovi, BIM, gasovi staklene bašte*

Abstract – *The subject of this paper is the implementation of BIM (Building Information Modeling) in the analysis of greenhouse gas emissions throughout all phases of the project. All phases, from design to the actual operation of the building, have been analyzed. BIM software was used for the gas analysis, where a model of an existing house was created. All factors in the materialization phase were taken into account, including the production of elements, material transport, and on-site construction.*

Keywords: *Proceedings of the FTS, Student papers, BIM, Greenhouse Gas Emissions*

1. UVOD

Pojedina trenutna istraživanja fokusiraju na korišćenje BIM tehnologije za upravljanje potrošnjom energije u obektu, međutim postoji malo istraživanja o upotrebi BIM-a za procenu emsije ugljenika u zgradama koje daje rezultate koji su lokalizovani i u realnom vremenu.

Ovaj rad uključuje pregled literature o trenutnim upotrebama, nedostacima i mogućim budućim upotrebama BIM-a u cilju smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte. Klimatske promene i nestašica energije postali su problemi na nivou celog sveta. Suočavajući se sa ozbiljnim ekološkim problemima, razvoj zelenih zgrada je suštinski deo rešavanja ograničenja resursa i postizanja održivosti.

Razlog ovome je uglavnom zato što je građevinska industrija odgovorna za preko 40% ukupne globalne potrošnje energije, kao i za 33% emisije gasova sa efektom staklene bašte, a postoji mnogo prostora za uštedu energije i smanjenje emisija kroz održivi dizajn u poređenju sa drugim industrijama.
Poboljšanje energetske efikasnosti kao i ekološki učinak zgrada je značajan deo razvoja zelenih zgrada i niskokarbonskih eko-gradova, kojima treba posvetiti dodatnu pažnju.

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Peško, vanr. prof.

2. ANALIZA

2.1. Objekat koji je analiziran

Za analizu emisija je uzet prodični objekat na Zlatiboru, spratnsoti P+0. Bruto površina objekta je 215 m2. Kako bi se izračunale emisije CO_2 prilikom izgradnje objekta neophodno je izračunati količine materijala ugrađenih u objekat. Kako bi se na što precizniji i lakši način došlo do predmera radova korišten je softver Allplan. Allplan je BIM softversko rešenje za arhitekturu, inženjering i konstrukciju koje podržava i integriše proces projektovanja i izgradnje kroz sve faze projekta. Integrisanu cloud tehnologiju za efikasnu saradnju, koordinaciju i isporuku uspešnijih projekata.

2.2. Izveštaji iz Allplana

Kada se definiše BIM model, Allplan automatski vrši izveštaj o količinama materijala ugrađenih u objekat. Te inforamcije o materijalima se moraju zadati prilikom modelovanja.

ALLPLAN

Allplan BCM - KOLIČINE

Projekt: Kuća za master
Izradio: S
Datum / Vrijeme: 3/26/2023 / 22:03
Napomena:

Kôd / Element-ID	Opis	Kratki t. Funkcija	Uračunata površina	Količina	Jed.
beton				80.034	m3
crep				249.114	m2
giter blok				227.838	m2
termoizolacija				11.418	m3
10				1622.188	kg
12				1711.468	kg
14				414.825	kg
16				79.316	kg
8				1766.334	kg
PVC folija				189.228	m2
Q188A				1628.753	kg
Q335A				1183.275	kg
beton				61.984	m3
drvo				532.128	m
drvo fasada				0.795	m3
kermaka				9.147	m2
malter				456.387	m2
parna brana				247.944	m2
parna brana				223.903	m2
plocice				49.296	m2
presovani ekstrudirani polistiren				189.228	m2
produzeni malter				6.623	m3
termoizolacija				223.682	m2

Slika 1. *Izveštaj iz programa*

Količine pojedinih građevinskih materijala koji su ugrađeni u objekat koji je predmet istraživanja su prikazani na slici 1.

2.3. Analiza izveštaja

Količine iz izveštaja datog na slici 1. koriste se dalje za proračun gasova u fazi materijalizacije. Time se dobijaju emisije nastale prilikom njihove proizvodnje.

Na te količine emisija, dodaju se još emisije koje nastaju prilikom samog prevoza materijala i same izgradnje na licu mesta.

Množenjem količina materijala i odgovarajućih faktora emisionih gasova izgračunava se količina CO_2 nastalih proizvodnjom materijala što je prikazano na tabeli 1.

Tabela 1. *Količina gasova nastala proizvodnjom materijala*

Материјал	Количина (t)	Фактор генерисаних гасова (т/т)	CO_2 (т)
Бетон	352.5	0.242	85.305
Цреп	11.4	2.330	26.562
Гитер блок	14	2.330	32.62
Арматура	5.594	0.200	1.120
PVC фолија	0.01	2.610	0.030
Дрво	3.88	0.200	0.776
Керамика	0.58	0.0404	0.023
Малтер	16.74	0.126	2.109
Парна брана	0.07	2.610	0.183
Пресовани екструдирани полистирен XPS	0.11	2.550	0.280
Термоизолација EPS	0.7	2.550	1.785

štetnih gasova različitim vrstama materijala. Različitim vrstama materijala. Beton i čelik su dva glavna izvora tokom faze materijalizacije. Stoga je smanjenje i izbegavanje otpada betona i čelika od ključnog značaja za smanjenje gasova u građevinskoj industriji.

Koristeći efikasno sredstvo za redukciju vode u procesu proizvodnje betona, potrošnja cementa može da se smanji. Ovo ne samo da može doprineti smanjenju stvaranja gasova, već može i da poboljša čvrstoću betona. Pored toga, materijali poput kamena, cigla i peska su takođe značajni za smanjenje štetnih gasova tokom faze materijalizacije.

Ukupna količina CO_2 u fazi materijalazacije se dobija sabiranjem količina gasova određenih materijala.

CO_2 ukupno u fazi materijalizacije = 150.793 t

Do količine CO_2 koja nastaje u fazi transporta se dolazi na osnovu količine materijala, rastojanja građevinskog stovarišta ili fabrike betona do gradilišta i načina transporta. Da bi se pojednostavio proračun, rastojanje za sve materijale je postavljeno da bude 4 km.

Drumski je transport materijala. Količina CO_2 generisana usled transporta materijala se dobija kao proizvod količine gasova nastalih u fazi proizvodnje, faktora emisije ugnjenika i rastojanja.

CO_2 prilikom transporta = 150.793 x 1.68 x 10 -4 x 4 = 101.33 t

Emisija gasa CO_2 koji nastaje na gradilištu usled izgradnje dobija se na osnovu površine objekta i faktora emisije gasova koji je na osnovu istraživanja Kineske

Akademije za inžinjerstvo usvojen da bude 34.78 t/m^2 [1].

CO_2 prilikom izgradnje = 215 m^2 x 34.78 t/m^2 = 7.37 t

Ukupna količina CO_2 prilikom izgradnje objekta = 150.793 t + 101.33 t + 7.37 t= 259.5 t .

2.4. Redukcija gasova usled odabira materijala

Odabir materijala sa manjom emisijom CO_2 može biti još jedan način smanjenja ukupne emisije gasova u građevinskoj industriji. Materijali za izolaciju, kao što su staklena ili mineralna vuna, mogu biti smanjenje potrebe za grejanjem i hlađenjem, što može smanjiti emisije CO_2 tokom faze upotrebe zgrade.

Alternativni materijali sa manjim uticajem na životnu sredinu, kao što su drvo, prirodni materijali i materijali recikliranog porekla, takođe mogu biti korisni za smanjenje emisije gasova izazvane proizvodnjom i transportom materijala. Može se videti da postoje značajne razlike u količini generisanih

2.5. Upravljanje i planiranje projetom

Korišćenje BIM-a u upravljanju gradilištem ima za cilj smanjenje emisije ugljen-dioksida. Naime, BIM omogućava analizu različitih parametara objekta, što doprinosi optimizaciji odabira materijala, procesa i tehnologija na gradilištu.

Na taj način se može smanjiti potrošnja resursa, uključujući energiju, vodu i gorivo, a time i emisija CO_2. Osim toga, upravljanje gradilištem uz pomoć BIM-a omogućava bolju organizaciju radova i usklađivanje procesa, što eliminiše aktivnosti koje izazivaju emisije, kao što su čekanja, greške, škart, prepravke, otpad i tako dalje. Kao rezultat, korišćenje BIM-a u upravljanju gradilištem može značajno doprineti zaštiti životne sredine i smanjenju emisije gasova sa efektom staklenika.

2.6. Održavanje objekta

Korišćenje BIM-a može biti korisno i u fazi održavanja objekta, što može smanjiti potrošnju energije i emisiju gasova u ovoj fazi. BIM može pomoći u praćenju energetske efikasnosti objekta i identifikaciji mogućnosti za poboljšanje, što može doprineti smanjenju ukupne emisije CO_2 tokom životnog veka zgrade. Količina šetetnih gasova koja se proizvodi u eksploatacionoj fazi objekta zavisi od toga u kakvoj se klimi nalazi. Ako je objekat izložen veoma hladnim zimama, a blagim letnjim temperaturama onda se znatno veća količina energije troši zimi zbog grejanja.

Gasovi koji nastaju u fazi eksploatacije i održavanja čine preko 80% ukupne količine tokom celog životnog ciklusa objekta, što je mnogo više od stambenih zgrada.

Javni objekti, poput muzeja, su zgrade sa specifičnim aktivnostima i potrošnjom energije koje značajno utiču na fazu eksploatacije i održavanja. Prvo, muzej obično opslužuje stanovništvo celog grada, pa čak i turiste iz drugih zemalja, što znači da je i broj dnevnih posetilaca i osoblja veći nego u stambenim zgradama.

Zbog zahteva za ljudskim komforom, više energije se troši tokom faze eksploatacije i održavanja za klimatizaciju i osvetljenje. Pored toga, neke zbirke u muzeju takođe zahtevaju stroge uslove čuvanja, kao što su

posebna temperatura i vlažnost, za koje je potrebna specijalizovana oprema. To dodatno povećava opterećenje potrošnje energije.

2.7. Redukcija gasova od mehanizacije

Građevinska oprema je primarni izvor gasova staklene bašte i izduvnih gasova tokom faze izgradnje velikog infrastrukturnog projekta. Zagađivači kao što su oksidi azota, ugljen monoksid i čestice ugrožavaju zdravlje ljudi i okolinu. Mnoge zemlje su postavile zakonski zahtev da građevinska oprema bude u skladu sa propisanim skupom kriterijuma za emisije. U nekim zemljama i metropolitanskim oblastima, izvođači moraju da podnesu godišnje izveštaje o emisiji ugljenika, a projektanti moraju da podnesu procenu uticaja na životnu sredinu i strategije ublažavanja za velike infrastrukturne projekte.

Među svim strategijama smanjenja emisija, poboljšanje održavanja i rada opreme može biti izvodljiv i isplativ pristup za smanjenje emisija. Građevinska mehanizacija ima veliki udeo u ukupnim emisijama u toku projekta. Rad i održavanje građevinske opreme je važan faktor za postizanje uštede goriva i smanjenje emisije izduvnih gasova. Pošto druge strategije smanjenja emisija mogu uključivati velike kapitalne investicije ili finansijsku potrošnju, poboljšanje prakse i prakse održavanja pokazalo se izvodljivijim za organizacije koje poseduju opremu, posebno za male i srednje izvođače.

Isplativo je preduzeti mere u obuci i obrazovanju operatera opreme, implementaciji proaktivnih strategija održavanja i raspoređivanju prave opreme za prave poslove. Telematika opreme predstavlja proizvode koji su ugrađeni u opremu ili se mogu kupiti zasebno i povezati sa motorom za prikupljanje podataka u realnom vremenu o statusu motora, nivou izlazne snage, nivou goriva i tečnosti, praćenju lokacije, dijagnostici kvarova motora, upravljanju vozačem itd. Mogu se koristiti za prikupljanje i prenos podataka u informacioni sistem za upravljanje opremom.

Informacioni sistem za upravljanje opremom čuva podatke o radu i održavanju opreme koji se zatim mogu koristiti za različite statističke ili napredne analize podataka za procenu produktivnosti opreme, performansi motora, potrošnje goriva, opterećenje motora, status motora (prazan hod, puno opterećenje ili drugi nivoi opterećenja) i trajanja se snimaju u realnom vremenu, emisije motora se mogu analizirati i izveštavati sa velikom preciznošću na dnevnoj, nedeljnoj ili mesečnoj osnovi.

3. ZAKLJUČAK

Informaciono modeliranje zgrada (BIM) postalo je neizostavan alat u modernoj građevinskoj industriji, pružajući korisne informacije i poboljšavajući produktivnost tokom svih faza projekta. Međutim, osim što pomaže u planiranju, projektovanju i izgradnji zgrada, BIM može imati i važnu ulogu u smanjenju emisije CO_2 u građevinskoj industriji.

Ovaj rad proučava implementaciju BIM-a u građevinskoj industriji s ciljem analize emisije CO_2, uključujući analizu objekata, smanjenje emisije CO_2 promenom materijala koji sa manjim faktorom generisanih gasova, kao i CO_2 emisije koje nastaju u fazi materijalizacije, eksploatacije i rušenja.

Metoda koja se koristila u ovom radu je analiza na osnovu predmera iz Allplana, koja je služila kao praktični primer primene BIM-a u upravljanju emisijama CO_2. Rezultati ukazuju na to da BIM pruža učinkovit alat za smanjenje emisija CO_2 u građevinskoj industriji, posebno u fazi planiranja i projektovanja.

Na primer, pravilan odabir materijala i opreme zahteva analizu emisije CO_2 tokom faze proizvodnje i transporta. Osim toga, BIM može biti koristan i u fazi upravljanja i održavanja zgrada, gde se može koristiti za praćenje potrošnje energije i analizu korištenja resursa.

U skladu s tim, ovaj rad ima važne implikacije za industriju i za okruženje, s ciljem pružanja smernica za primenu BIM-a u upravljanju emisijama CO_2 u građevinskoj industriji. Iako se još uvek postavljaju mnoga pitanja o održivosti BIM-a, ovaj rad pokazuje da BIM može biti koristan alat za smanjenje emisija CO_2 u građevinskoj industriji te pruža smernice za dalja istraživanja u tom području.

Konačno, ovaj rad ima važnu ulogu u podizanju svesti o potrebi za smanjenjem emisije CO_2 u građevinskoj industriji i razvoja u ovoj važnoj industriji.

4. LITERATURA

[1] Feng, Y.P.; Yong, W.; Liu, C.B. Energy-efficiency supervision systems for energy management in large public buildings: Necessary choice for china. Energy Policy 2009, 37, 2060–2065.

Kratka biografija:

Stefan Čumić rođen je u Užicu 1997. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinrastva – konstrukcije odbranio je 2022.god. Otvorio je svoju građevinsku radnju za projektovanje 2023.
kontakt: cumicstefan1@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK:624.05
DOI:https://doi.org/10.24867/26CG05Krstic

PRORAČUN ČELIČNE HALE PREMA EVROKODU I UPOREDNA ANALIZA KRANSKE STAZE PREMA EVROKODU I SRPS-U

STRUCTURAL DESIGN OF STEEL HALL ACCORDING TO EUROCODE AND COMPARATIVE ANALYSIS OF RUNWAY BEAM TO EUROCODE AND SRPS

Slavenko Krstić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – *Tema rada je proračun čelične proizvodne hale preme Evrokod propisima sa uporednom analizom kranske staze prema Evrokodu i SRPS-u. Urađen je kompletan statički proračun i dimenzionisanje sa potrebnim grafičkim prilozima (dispozicionim crtežima, detaljima čelika i detaljima veza).*

Ključne reči: *Čelična hala, kranska staza, Evrokod, detalji čelika, detalji veza*

Abstract – *The topic of the paper is the structural design of the steel hall according to Eurocode standards with a comparative analysis of the crane supporting beam according to Eurocode and SRPS. A complete static calculation and structural design were done with the necessary graphic attachments (disposition, steel details, and connections details).*

Keywords: *Steel hall, crane supporting beam, Eurocode, steel details, connections details*

1. UVOD

Projektnim zadatkom definisani su ulazni podaci potrebni za projektovanje proizvodne čelične hale sa unutrašnjim transportom koji je obezbeđen kranskom dizalicom nosivosti 20t. Hala je jednobrodna sa rasponom od 30,0m. Objekat je u osnovi dimenzija 30,0x60,0m. Ukupna visina objekta je 13,15m. Proračun sila i dimenzionisanje hale neophodno je uraditi u skladu sa važećim evropskim normama. Lokacija objekta je Novi Sad.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

Analizom opterećenja obuhvaćena su sva relevantna opterećenja koja će se javiti za vreme eksploatacionog veka konstrukcijeprema Evrokod EN 1990.

2.1. Stalno opterećenje

Ovo opterećenje obuhvata sopstvene težine konstruktivnih i nekonstruktivnih elemeneta. U nekonstruktivne elemente ubrajaju se obloge, odnosno zidni i krovni paneli, zatim elektro i mašinske instalacije i sl. Sopstvena težina konstruktivnih elemenata uračunata je automatizmom samog softvera koji je korišćen za proračun a to je Tower 8.

2.2. Povremeno opterećenje

Opterećenje od snega definisano je Evrokodom EN 1991-1-3. Osnovni parametar za definisanje inteziteta ovog dejstva je opterećenje od snega na tlo s_k = 1,00kN/m^2. Ovaj intezitet se očitava sa karti u zavisnosti od lokacije objekta. Pored ove vrednosti na intezitet opterećenja od snega utiču još i koeficijent oblika m_i, koji je funkcija oblika krova, koeficijent izloženosti C_e i toplotni koeficijent C_t. Konačno intezitet opterećenja od snega dobija se prema izrazu (1):

$$s = \mu i * Ce * Ct * sk \quad (1)$$

Opterećenje od vetra definisano je Evrokodom EN 1991-1-4. Deluje pritiskajuće ili sišuće na zidne i krovne površine. Osnovni parametar za definisanje dejstva vetra je osnovna fundamentalna brzina vetra koja se takođe u zavisnosti od lokacije objekta očitava sa karti i za ovaj objekat iznosi $V_{b,0} = 19$ m/s. Na osnovu ove brzine računa se udarni pritisak vetra koji se množi sa koeficijentima pritiska na spoljašnje ili unutrašnje površine i na taj način dobija konačno opterećenje koj se nanosi na objekat. Korigovanjem ove brzine sa direkcionim C_{dir} i sezonskim koeficijentom C_{season} dobija se osnovna brzina vetra prema izrazu (2), a korigovanjem osnovne brzine vetra koeficijentom hrapavosti $C_{r(z)}$ i koeficijentom topografije $C_{0(z)}$ dobija se srednja brzina vetra prema izrazu (3):

$$V_b = V_{b,0} * C_{dir} * C_{season} \quad (2)$$

$$V_{m(z)} = V_b * C_{r(z)} * C_{o(z)} \quad (3)$$

U formuli za računanje udarnog pritiska vetra prema izrazu (4) figurišu koeficijent turbulencije $I_{v(z)}$, gustina vazduha ρ i srednja brzina vetra $V_{m(z)}$.

$$q_{p(z)} = (1 + 7 * I_{v(z)} * \frac{1}{2} * \rho * V_{m(z)}2 \quad (4)$$

Na kraju, intezitet pritiska vetra na spoljašnje površine dobija se prema izrazu (5) na osnovu koeficijenata pritiska koji zavise od karakteristika površine na koju vetar deluje.

$$w_e = q_{p(z)} * C_{pe} \quad (5)$$

2.3. Seizmičko opterećenje

Seizmičko opterećenje definisano je Evrokodom EN 1998 i podrazumeva najpre proračun modalne analize konstrukcije koja nam daje uvid u dinamičke karakteristike same konstrukcije. Ti podaci, tačnije periodi oscilovanja, osnova su za dalji proračun seizmičkog opterećenja. U tabeli 1 dati su, za prvih deset

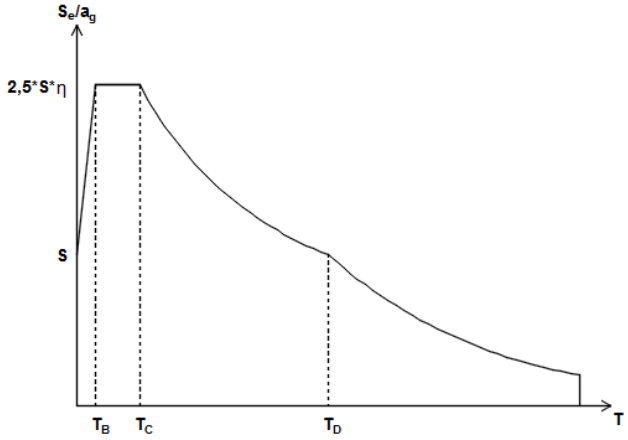
NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Andrija Rašeta.

tonova, periodi oscilovanja sa odgovarajućim frekvencijama oscilovanja konstrukcije.

Tabela 1. *Rezultati modalne analize*

No	T [s]	F [Hz]
1	1.4261	0.7012
2	0.7045	1.4194
3	0.5734	1.7440
4	0.5467	1.8292
5	0.4561	2.1925
6	0.3659	2.7330
7	0.3032	3.2982
8	0.2437	4.1035
9	0.2294	4.3592
10	0.2258	4.4285

Lokacija objekta definisala je maksimalno referentno ubrzanje tla $a_{gr} = 0.15g$ koje je još jedan od osnovnih parametara za dalji proračun. Bitni parametri su još karakteristike tla, za ovaj objekat izabrano je tlo kategorije B, klasa duktilnosti DCM i klasa značaja objekta, ovde izabrana II. Izabrana je multimodalna spektralna analiza za proračun seizmičkih sila. Zemljotresno kretanje neke tačke na površini tla opisuje se elastičnim spektrom odgovora prikazanim na slici 1.



Slika 1. *Elastični spektar odgovora*

Redukovanjem elastičnog spektra odgovora faktorom ponašanja dobija se projektni spektar odgovora S_d (T_k). Ukupna horizontalna seizmička sila za k-ti ton dobija se prema izrazu (6) gde je $m_k$efektivna modalna masa za k-ti ton oscilovanja.

$$F_{bk} = S_d(T_k) * m_k \quad (6)$$

Svakom tonu oscilovanja odgovara određena bazna sila a samim tim i uticaji od seizmičkog dejstva za taj ton. Maksimalna vrednost nekog uticaja od seizmičkog dejstva određena je primenom CQC metode (kompletna kvadratna kombinacija) prema izrazu (7).

$$E_E = \sqrt{\sum_n \sum_m E_{E,n} * \rho_{n,m} E_{E,m}} \quad (7)$$

Za ovaj objekat računate su seizmičke sile za globalni x i y pravac. Ove dve komponente seizmičkog dejstva smatra se da deluju istovremeno. Maksimalna vrednost nekog uticaja u konstrukciji može se konzervativno uzeti kao srednja kvadratna vrednost (SRSS) prema izrazu (8).

$$E_E = \sqrt{E_{Ex^2} + E_{Ey^2}} \quad (8)$$

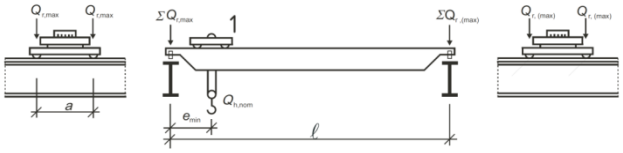
2.4. Opterećenje od kranske staze

Mosna dizalica je raspona 28,3m sistema proste grede oslonjene na kranske staze koje se protežu celom dužinom hale. Nosivost krana je 20t. Tabelom 2 date su karakteristike krana koji opslužuje halu.

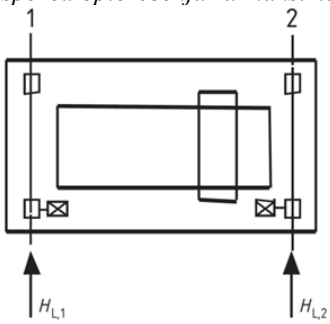
Tabela 2. *Karakteristike krana*

Dvogrednamosnadizalicasajednomkukom	
Nosivost	20t = 200 kN
Raspon	28,3 m
Sopstvena težina krana	200,00 kN
Težina mačke	10,00 kN
Brzina dizanja tereta	4,00m/min
Razmak točkova	4,0m
Klasa dizanja	HC4
Klasa zamora	S6

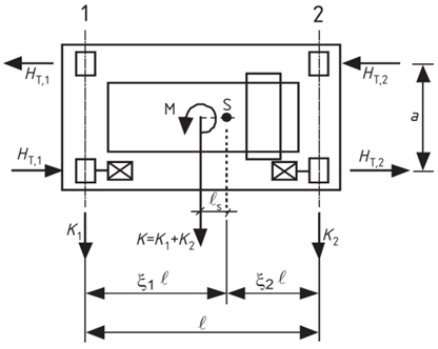
Opterećenje od krana definisano je Evrokodom 1991-3. Podrazumeva analizu opterećenja koja deluju u vertikalnom, podužnom i poprečnom pravcu. Klasifikuju se kao promenljiva dejstva i incidentna dejstva. Na slici 2 prikazan je raspored vertikalnog opterećenja od krana za dobijanje maksimalnih uticaja na kranskoj stazi. Na slici 3 prikazane su podužne horizontalne sile usled ubrzanja i kočenja krana a na slici 4 poprečne horizontalne sile usled istog dejstva. Horizontalne sile uzrokovane zakošenjem krana date su na slici 5.



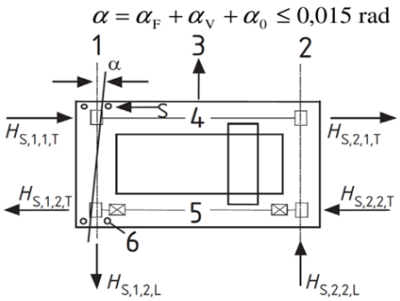
Slika 2. *Raspored opterećenja za maksimalne uticaje*



Slika 3. *Podužne horizontalne sile*



Slika 4. *Poprečne horizontalne sile*

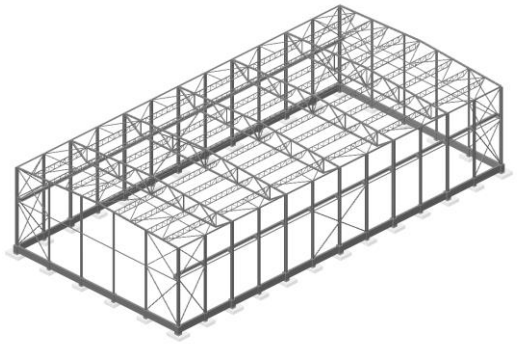


Slika 5. *Horizontalne sile usled zakošenja krana*

Kako je opterećenje od krana izrazito dinamičkog karaktera u pororačun se uvode dinamički koeficijenti kojima se uvećavaju dejstva u zavisnosti od vrste samog opterećenja. Ukupno ima sedam različitih dinamičkih koeficijenata koji se koriste pri proračunu. Evrokod propisuje sedam grupa opterećenja od kojih se sve moraju proveriti a one merodavne koristiti za proračun. U ovom radu nisu analizirana incidentna dejstva od krana.

3. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE I OPTEREĆENJA

Modeliranje konstrukcije rađeno je u programu Tower 8. Za proračun konstrukcije primenjena je metoda konačnih elemenata. Svi čelični konstruktivni elementi, a to su stubovi, grede, spregovi, rožnjače i kranska staza modelirani su linijskim konačnim elementima. Istim konačnim elementima modelirane su temeljne grede i temeljni stubovi. Temeljne stope su modelirane površinskim konačnim elementima. Na slici 6 prikazan je 3D model konstrukcije.



Slika 6. *3D model konstrukcije*

Beton je klase C30/37 a čelik je kvaliteta S275. Modeliranje oslonaca odnosno interakcije tla i konstrukcije vršeno je primenom Winkler-ovog modela. Osnovni parametar za korišćenje ovog načina modeliranja oslonaca je koeficijent posteljice k koji se izražava u $kN/m^2/m$. U globalnom z pravcu iznosi $k = 15000$ kPa/m. U horizontalnom pravcu je $k = 1000$ kPa/m. Opterećenja su u zavisnosti od karaktera i samih propisa modelirana kao površinska odnosno linijska.

Sopstvena težina nekonstuktivnih elemenata, sneg i vetar naneti su kao površinska opterećenja koja deluju po linijskom rasporedu na konstruktivne elemente.

Opterećenje od krana na kransku stazu modelirano je kao pokretno opterećenje dve koncentrisane sile. Seizmičko opterećenje je naneto na konstrukciju automatizmom programa.

4. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONISANJE

Statički proračun je rađen linearnom teorijom prvog reda. Dimenzionisanje elemenata konstrukcije proverava se zadovoljenje graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja upotrebljivosti koristeći Evrokod EN 1992 i EN 1993, za betonske i čelične elemente, respektivno.

4.1. Proračunske kontrole

Kontrola napona u tlu podrazumeva zadovoljenje zahteva propisanih standardom EN 1997 kao i maksimalnih projektnih napona koji se ne smeju prekoračiti a koji su deo geomehaničkog elaborata. Iz proračuna sledi da je maksimalni proračunski napon manji od projektne nosivosti tla što je dato izrazom (9)

$$E_{Ed} = 143{,}39\ kPa < R_d = 150{,}00\ kPa \qquad (9)$$

Kontrola normalnih napona u stubovima je zahtev Evrokoda 8. Aksijalnu silu pritiska potrebno je ograničiti na 30 % proračunske nosivosti stuba. Ovo ograničenje za uzrok ima potrebu za obezbeđenjem dovoljnog duktilnog rada kritičnih preseka pri seizmičkim uticajima imajući u vidu da sa porastom aksijalne sile pritiska opada duktilnost preseka. Uslov koji mora biti zadovoljen dat je izrazom (10). Proračunska vrednost plastične nosivosti bruto poprečnog preseka označena je sa $N_{pl,Rd}$.

$$N_{Ed} = 0{,}3 * N_{pl,Rd} \qquad (10)$$

Kontrola obuhvatanja efekata drugog reda je još jedan od zahteva Evrokoda 8. Potrebno je uporediti odnos između momenta drugog reda koje pravi aksijalna sila u stubu i momenta prvog reda koje pravi horizontalna seizmička sila. Ukoliko ovi odnosi nisu u granici dozvoljenih potrebno je efekte drugog reda obuhvatiti na neki od načina koje propisuje Evrokod. Parametar koji određuje uvođenje efekata drugog reda je koeficijent osetljivosti θ. Izrazom (11) dat je način proračuna ovog koeficijenta. Vrednosti koeficijenta većeg od 0,3 nisu dozvoljene. Od 0,2 do 0,3 zahteva nelinearna analiza konstrukcije. Vrednost koeficijenta od 0,1 do 0,2 podrazumeva uvećanje proračunskih momenata ali bez nelinearne analize, dok za vrednosti manje od 0,1 nije potrebno uvoditi efekte drugog reda u proračun.

$$\theta = \frac{P_{tot} * dr}{V_{tot} * h} = \frac{M_{IIreda}}{M_{Ireda}} \qquad (11)$$

Kao i prethodni zahtevi kontrola dopuštenih pomeranja vrha stuba je zahtev Evrokoda 8. U ovom slučaju proveravaju se relativna pomeranja koja nastaju pri seizmičkom dejstvu na konstrukciju. Pomeranje vrha stuba $d_{r,k}$mora se zadovoljiti prema izrazu (12). Redukcionim faktorom ν, koji zavisi od klase značaja objekta, umanjuje se ova vrednost. Dozvoljeno pomeranje zavisi od visine stuba h_k, koja je redukovana faktorom ω, koji zavise od vrste nekonstruktivnih elemenata.

$$d_{r,k} * \nu < \omega * h_k \qquad (12)$$

4.2. Kombinovanje opterećenja

Prilikom projektovanja razmatraju se najnepovoljnije kombinacije opterećenja koje mogu istovremeno opterećivati konstrukciju. U tim kombinacijama razlikovaćemo dejstva koja u posmatranim presecima imaju povoljan efekat (deluju povoljno), odnosno ne formiraju merodavnu kombinaciju opterećenja (izostaju iz

kombinacije) ili se obračunavaju sa svojim minimumom (stalna dejstva). Prilikom kombinovanja, dejstva se, za proračun prema graničnom stanju loma, uvećavaju parcijalnim koeficijentima sigurnosti, što omogućava rezervu nosivosti elemenata i konstrukcije. To znači da su proračunska dejstva veća od stvarnih inteziteta dejstava, što upravo daje pomenutu rezervu nosivosti odnosno stepen sigurnosti. Za svaki kritičan slučaj opterećenja, proračunske vrednosti uticaja od dejstava, moraju da budu određene kombinovanjem vrednosti dejstava za koja se smatra da mogu da se pojave istovremeno. Pravilo za kombinovanje za stalne i prolazne proračunske situacije prikazano je izrazom (13), a pravilo kombinovanja za seizmičke proračunske situacije izrazom (14).

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_p * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,j} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (13)$$

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P + A_{E,d} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (14)$$

4.3. Proračun konstruktivnih elemenata

Ovom proračunu prethodi kombinovanje opterećenja. Ove kombinacije su korišćene za proveru graničnog stanja nosivosti. Za proveru graničnog stanja upotrebljivosti korišćene su karakteristične kombinacije opterećenja.

Pri proračunu elemenata konstrukcije, u zavisnosti od uticaja koji se javljaju na njima, proveravano je sledeće: kontrola napona, računska otpornost na pritisak, računska otpornost na zatezanje, računska otpornost na savijanje, proračunska nosivost na smicanje, proračunska nosivost na savijanje i aksijalnu silu, proračunska nosivost na savijanje i smicanje, proračunska nosivost na savijanje, smicanje i aksijalnu silu, nosivost na fleksiono izvijanje, nosivost na bočno-torziono izvijanje. Proveravani su i vertikalni i horizontalni ugibi u zavisnosti od položaja konstruktivnog elementa u konstrukciji. U okviru proračuna detaljno je obrađena kranska staza prema Evrokodu i prema domaćim SRPS propisima što je istraživački deo rada.

Pored gore pomenutih kontrola za kransku stazu proveravana je i nosivost na dejstvo smicanja i torzije. Torzija na kranskoj stazi nastaje usled slučajnog eksentriciteta koji pravi točak krana na šini po kojoj se kreće usled horizontalnih bočnih sila.

Proveravano je i ulubljenje (crippling) što predstavlja izbočavanje i plastifikaciju rebra neposredno ispod nožice usled koncetrisane sile.

Analiza opterećenja prema SRPS obuhvatila je vertikalne sile od točkova krana, podužne sile od ubrzanja i kočenja krana i poprečne sile od bočnih udara Intezitet vertikalnih sila izračunat je na osnovu sopstvene težine krana i nosivosti krana za najnepovoljniji položaj opterećenja. Dobijeni inteziteti su pomnoženi dinamičkim koeficijentom φ. Sile kočenja prema SRPS-u iznose 1/7 vertikalnog opterećenja točka. Intezitet poprečnih sila od bočnih udara uzima se kao 1/10 vertikalnog opterećenja točka.
Opterećenja su svrstana na osnovna opterećenja (stalno opterećenje, vertikalne sile) i dopunska opterećenja (bočni udari i sile kočenja).

5. ZAKLJUČAK

U delu zaključak rekapitulirane su osnovne činjenice i rezultati koji su proistekli iz uporedne analize proračuna kranske staze preme Evrokodu i SRPS standardu, što je i istraživački deo ovog rada. Evrokod propisi imaju za osnovni cilj racionalizaciju poprečnih preseka dostižući granična stanja nosivosti, nasuprot ranijem pristupu koji se temelji na metodi dopuštenih napona gde su elementi korišćeni u linearnom radu dostižući maksimlano granicu razvlačenja. Imajući to na umu, za očekivati je da jedan isti poprečni presek veća proračunska iskorišćenost koristeći SRPS standard. Ipak kako se u Evrokodu za opterećenja koriste parcijalni koeficijenti sigurnosti tako su ona znatno veća u odnosu na opterećenja kranske staze prema SRPS-u što uzrokuje veću procentualnu iskorišćenost preseka pri kontroli napona i stabilnosti prema Evrokodu. Provera ugiba je pokazala suprotno.

Uzrok toga je jedinični parcijalni koeficijent za opterećenje pri zadovoljenju graničnog stanja upotrebljivosti.

6. LITERATURA

[1] EN 1991-1-1 Дејства на конструкције (Запреминске тежине, сопствене тежине, корисна оптерећења за зграде)
[2] EN 1991-1-3Дејства на конструкције (Дејства снега)
[3] EN 1991-1-4Дејства на конструкције (Дејства ветра)
[4] EN 1991-3Actions on structures – Part 3: Actions inducted by cranes and mashinery
[5] EN 1992-1-1 Прорачун бетонских конструкција (Општа правила и правила за зграде)
[6] EN 1993-1-1 Прорачун челичних конструкција (Општа правила и правила за зграде)
[7] EN 1993-6 Design of steel structures – Part 6: Crane cupporting structures
[8] EN 1997-1 Геотехнички прорачун (Општа правила)
[9] EN 1998-1 Прорачун сеизмички отпорних конструкција (Општа правила, сеизмичка дејства и правила за зграде)
[10] Гранична стања челичних конструкција према Еврокоду, Златко Марковић
[11] Металне конструкције, Основе прорачуна и конструисања, Др Драган Буђевац, Мр Златко Марковић, Мр Драгана Богавац, Мр Драгослав Тошић
[12] Металне конструкције у зградарству, Др Драган Буђевац
[13] Челичне конструкције у грађевинарству, Др. Бранко Зарић, Др Драган Буђевац, Др Братислав Стипанић

Kratka biografija:

Slavenko Krstić rođen je19.06.1989. godine u Sarajevu, Bosna i Hercegovina. Osnovne akademske studije završio je 2018. godine. Na Fakultetu tehničkih nauka na studijskom programu Građevinarstvo. 2019. godine upisuje Master akademske studijeiz oblasti Građevinarstva, Konstrukcije.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 624
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG06Stevic

ИЗГРАДЊА ПРЕФАБРИКОВАНИХ ХАЛА

CONSTRUCTION OF PREFABRICATED HALLS

Јована Стевић, *Факултет тегничких наука, Нови Сад*

Област – ТЕХНОЛОГИЈА И ОРГАНИЗАЦИЈА ГРАЂЕЊА

Кратак садржај – *Изградња индустријске монтажне хале, представља монтажне објекте који су у последње време постали доминантни на тржишту.*

Кључне речи: *Префабрикација, производња елемената, челичне монтажне хале, бетонске монтажне хале.*

Abstract – *The construction of an industrial assembly hall represents assembly facilities that have recently become dominant on the market.*

Keywords: *Prefabrication, production of elements, transport, assembly halls, concrete assembly halls.*

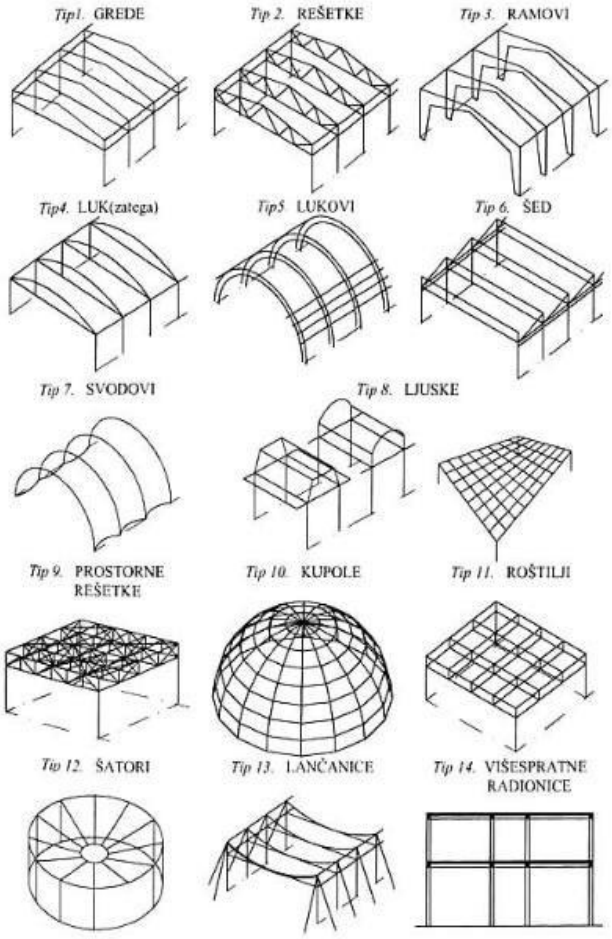
1. УВОД

Савремено грађевинарство се у великој мери базира на индустријској производњи (префабрикацији). Основна карактеристика префабрикације је, да се елементи производе у производним погоднима (фабрикама), а на градилишту се само монтирају.
Све мање се могу видети објекти који се граде на класичан начин, јер је време драгоцено, а циљ је да се добије оптималан квалитет уз што мање улагања. Класична градња носи бројне ризике те се све више стварају монтажни објекти за чију поставку је неопходно мање људства, мање времена и што је најважније - ризици су сведени на минимум. Већи део посла се не обавља на терену где ће се хала налазити. Организација грађења, као саставни део активности на извођењу објеката, заузима значајно место у реализацији пројекта. Монтажа каква је данас не би се могла извршити без савремених средстаа за транспорт и дизање. Велике су могућности кад су хале у питању, јер је то простор који задовољава разне врсте активности и прикладан је за разноврсне намене, те је из тог разлога веома чест случај да се људи опредељују управо за монтажну изградњу хала.
У раду је анализиран развој, примена, начин израде елемената, транспорт и монтажа префабрикованих хала. Циљ је да се укаже на могућности и широку примену самог монтажног грађења хале. Анализом и синтезом се долази до тога, да су префабриковане хале на врло високом месту, што се њене примене тиче.

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Милан Тривунић.

2. ХАЛЕ

Хале се разликују према броју поља, саставу конструкције, облику, те типу крова. Једнобродне су хале најједноставнији и најраширенији тип хала. У монтажним халама највећу примену су нашле решеткасте конструкције. Посебна пажња при избору конструктивног система мора се посветити обезбеђењу стабилности конструкције у свим фазама извођења и експлатацији.
На основу врста и подврста пројектованих и изведених монтажних хала, формирана је типологија према конструкцији приказано на слици 2.1. тако да се све врсте могу подвести под одређени тип.

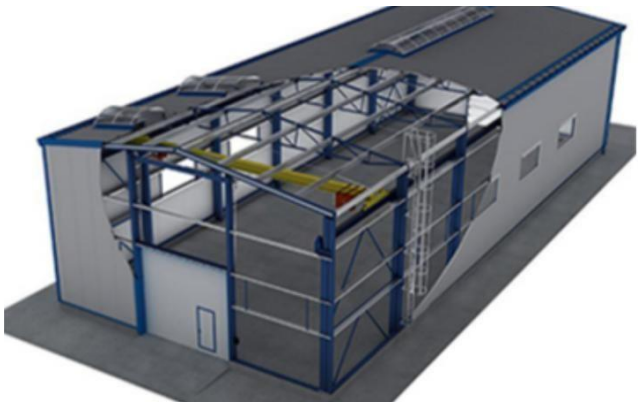


Слика 2.1. *Типологија монтажних хала [4]*

3. ЧЕЛИЧНЕ МОНТАЖНЕ ХАЛЕ

Металне конструкције за хале се израђују у форми од челичне конструкције од профилисаних лимова, хладно обликованих металних профила, као и

кутијастих и пуних профила, заштићених индустријским постојаним бојама.



Слика 3.1. *Префабрикована челична хала [4]*

3.1. Производња челичних монтажних хала

Производња се обавља у радионицама. Пролази кроз неколико фаза и то, сечење, брусење, бушење, склапање, заваривање, пескарење и фарбање. Процес производње представља свеобухваћени технолошки ланац узастопних операција које осигуравају производњу челичних конструкција, почевши од претходне обраде материјала до коначне монтаже произведених конструкција. Подсклопови могу да се састоје од једног или више елемената, спајањем подсклопова, формирају се склопови.

4. БЕТОНСКЕ МОНТАЖНЕ ХАЛЕ

Бетонске хале (дато на слици 4.1.), као и челичне имају велику примену, поготову монтажне бетонске, која као таква има велике предности, то је чини висококвалификованом.

Слика 4.1. *Монтажна бетонска хала [4]*

4.1. Производња бетонских монтажних хала

Производљу бетонских елемената по принципима индустријске производње, карактерише примена савремених технологија са специјалном опремом и машинама за обликовање, уграђивање, убрзано очвршћавање и транспорт бетона, односно елемената. Префабриковани бетонски елементи производе се у калупима који дефинишу њихов облик и димензије. Основне фазе при производњи префабрикованих елемената су: припрема калупа, армирање, бетонирање, одлежавање, термичка обрада, хлађење, вађење и депоновање.

Елементи на којима је завршена термичка обрада, ваде се из калупа и односе на складиште.

Циљ анализе у области производње је да обезбеди једноставну и поуздану производњу, чије ће фазе да обезбеде захтевани квалитет елемената уз најниже производне трошкове.

Све фазе треба обухватити прорачуном, укључујући и посебну проверу лежишта и монтажних веза елемената.

5. ТРАНСПОРТ МОНТАЖНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Монтажна градња не би функционисала без могућности транспортовања монтажних елемената. У зависности од врсте елемената и њихове величине, као и места израде елемената, мора се изабрати одговарајуће транспортно средство.

На основу могућих места израде, транспортна средства се могу поделити у односу на градилиште где се врши монтажа елемената:

-средства за унутрашњи транспорт

Транспорт монтажних елемената, од погона за префабрикацију на градилишту до места монтаже или од депоније на градилишту до места монтаже, је транспорт од 200м до 1000м.

-средства за спољашњи транспорт

Транспорт елемената се углавном врши камионима.

Да би се монтажни елемент транспортовао од места израде до места уградње потребно је да се испуне захтеви техничког ограничења и потреба и минимизација трошкова транспорта.

Елементи када се транспортују, ослањају се у одређеним тачкама, што даје одговарајући статички систем. При транспорту се мора узети у обзир начин утовара и истовара, потреба за претоварањем, дужина транспорта и цена транспорта.

При сваком транспорту монтажних елемената, потребно је за сваку врсту елемената предивдети одлагање, везивање и ојачање, да би се елементи траснспортовали без оштећења. Неке од дизалица које се користе за унутрашњи транспорт су: мостне дизалице, висеће дизалице, монерej дизалице итд.

6. МОНТАЖА КОНСТРУКЦИЈЕ ХАЛЕ

Да би монтажа елемената била успешна мора се димензионисати одређен положај елемената у конструкцију, план организације на градилишту, а затим редослед монтаже елемената. Приликом монтаже мора се водити рачуна о сигурности. Зато је анализа монтаже јако битна. Монтажа и спајање елемената изводи се по редоследу и начину који су одређени пројектом за монтажу конструкције.

Монтажне конструкције морају се монтирати поступно, и то на начин којим се обезбеђују: стабилност и непомерљивост, сигурност објект и радова

Фактори који утичу на процес израде монтажног објекта су објективни (производни, технички, степен развијености) и субјективни (дисциплина, организација процеса рада и производње у целини).

6.1. Монтажа челичних хала

Већи део припреме пред постављање хале обављасе у специјализованим радницима. Монтирање се обавља брзо и ефикасно.

Постоје 2 типа спајања челичне конструкције: Монтажно-демонтажна и Модуларна.

Код монтажно-демонтажних хала могуће је променити димензије, форму и облик...са лакоћомсе могу раставити, пребацити на другу локацију и поново саставити, без вероватноће да се елементи оштете или скрати век трајања грађевине.

Код модуларног типа хала спајање: спајање делова помоћу завраривања.

Модуларна конструкција подразумева изградњу читавих делова пројекта пре него што те делове отпреме на локацији. Овакве хале се не могу тако лако селити са локације на локацију.

Елементи челичних конструкција који се монтирају, пре ослобађања куке дизалице за монтажу, морајусе сигурно причврстити постављањем привремених или сталних веза.

Спајање елемената се код челика своди на: усидрени челични елемент, међусобно повезивање заваривањем или завртњевима.

6.2. Монтажа бетонских хала

Представља скуп међусобно зависних поступака произашлих из карактеристика подсистема процеса монтаже. Монтажа бетонског елемента дата је на слици 6.1.

Везе код бетонских хала делимо на „мокре`` и „суве`` везе. Избор везе зависи од појединих елемената који се спајају, статичке улоге, положаја у конструкцији и слично. Треба водити рачуна да веза наметнутих елемената не утиче на стабилност објеката.

Сл. 6.1. *Монтажа бетонског елемента [4]*

6.3. Основна средства за монтажу

Средства за монтажу поред конструктивног решења престављају битан фактор система монтажног објекта. Основна средства за монтажу која се примењују су:

1.Самоходне дизалице,

2.Хидрауличне дизалице,

3. Торањске дизалице (мало ређе).

Као помоћно средство поред мердевина, скела, спадају и провизионе радне платформе за рад на висине, које се дижу са корпом.

6.3.1. Захватање елемената - помоћна средства за монтажу

Уређаји за захватање елемената при монтажи потребно је да су тако пројектовани да не дође до деформација и оштећења елемената који се монтирају. За захватање елемената убрајамо: лаке ланчане дизалице, ужади, траверзе, котураче, и др.

У оквиру решавања захвата елемената треба да се одабере начин захвата, одреди положај места захвата на елементу, изврши статичка контрола.

7. ОБЛОГА ХАЛА

Након што смо обезбедили спојеве и рамове, важно је изабрати адекватне облоге. Анализа облога (зидова и крова), поред основне потребе једне хале, знатно утиче и на сам изглед објекта, па постоји разнолика могућност за облагање. Користе се разни панели, профилисани лимови, siporex плоче, durisol плоче и др.

8. ОДРЖАВАЊЕ ХАЛА

Да би очували једну монтажну халу, продужили њен век и сачували изглед и саму конструкцију, потребно је и одржавати је, оно што је предност у томе, је што нису захтевне. Трошкови одржавања су нису. Потребо је редовно пратити њено стање и обилазти је. Уколико је потребно санирати или заменити неки саставни део, читав посао је лак и врз.

9. ПРОЈЕКТОВАЊЕ МОНТАЖНИХ ХАЛА

Монтажни системи је дефинисан пројектом. Што за потребу има информисаност о елементима, принципима, функционисању и условима за изгардњу једног монтажног објекта. Потребно је имати податке о основним елементима, основним принципима, технолошки и функционални услови, урбанистички услови, технички услови и припремна фаза пројекта. Треба посветити и посебну пажњу пројектовању и извођењу монтажних веза елемената, које се изводе при спајању елемената., како не би ометале процес монтаже као и начин израде. Због тога а и због смањења могуће грешке и ефикасне монтаже, као и због сигурности и тачности израде, врло је важно стандардизовати пројектовање веза и наставака. Обим радова при изради монтажних веза мора да буде што мањи.

9.1. BIM у префабрикацији

Развој у рачунарској индустрији директно је одговоран за појаву BIM технологије. Предност тога је побољшана анализа. Употребом BIM-а у фази грађења остварује се значајна предност, имамо једноставније и боље планирање процеса грађења, а самим тим и уштеду времена и новца.

10. ЗАКЉУЧАК

Монтажне хале задовољавају све еколошке критеријуме, од енергетске ефикасности, па све до

утицаја на животну средину у току градње и експлоатације. Њихова практичност се огледа у томе што је могуће од свих елемената направити хале различитих намена. Прилагодљивост монтажних хала се најбоље види тамо где је потребно проширење или промена места хала.

Захтеви за монтажним индустријским халама су све већи у корак са развојем савременог друштва. Квалитетна техничка решења конструкције и решења која се односе на технологију, механизацију и организацију радова на монтажи објеката потребно је међусобно повезати и ускладити у зависности од услова под којима се обавља изградња, као и од постављених захтева.

Од свих елемената који се користе у изградњи монтажних хала, заиста нема ниједног који би захтевао неко посебно одржавање, замену, сервис или било шта друго. Што значи да је веома ниска цена одржавања. Па је логично закључити да је век трајања, прилично дуг.

Захтеви за монтажним индустријским халама су све већи у корак са развојем савременог друштва. Његов значај расте, како све више компанија улази на тржиште са ниским трошковима, али са побољшањем ефикасношћу и квалитетом.

BIM приступом имамо једноставније и боље планирање процеса грађења, а самим тим и уштеду времена и новца.

Увођење BIM-а јесте захтеван и дуготрајан процес. Примена BIM-а на градилишту значајна је у случају визуализације компликованих просторних ситуација. Да би имплементација нове технологије била успешна неопходна је добро осмишљена стратегија.

Дакле, ови системи представљају ефикасно решење које штеди време и новац. Ефикасност решења посматра се са становишта трошкова јер је „ уштеда времена најбржи начин да се уштеди новац’’. Брзо монтирање хале, не подразумева низак квалитет градње. Напротив, једна таква монтажна хала одлично ће издржати све временске услове.

11. ЛИТЕРАТУРА

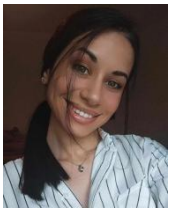
[1] Милан Р. Тривунић, Јасмина Ј Дражић ,,Монтажа бетонских конструкција зграда’’, Универзитет у Новом Саду Факултет техничких наука, друго допунско издање,

[2] Момир Краставчевић ,,Примена монтажног грађења’’,

[3] Драган Буђевац ,,Металне конструкције у зградарству’’,

[4] Предавања ,,Индустријализација у грађевинарству’’,Милан Р Тривунић и Јасмина Ј Дражић.

КРАТКА БИОГРАФИЈА:



Јована Стевић рођена је у Приштини 1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука изобласти Грађевинарства - Изградња префабрикованих хала, одбранила је 2023. године.
Kontakt: stevicjoka2@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 626/627
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG07Dzakula

ИДЕЈНО РЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ ЗЕМЉИШТА У МАГЛИЋУ

CONCEPTUAL DESIGN OF IRRIGATION FOR AGRICULTURAL AREAS IN MAGLIC

Синиша Џакула, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – *У раду је приказана методологија пројектовања система за наводњавање пољопривредне површине од 320 ha у Маглићу, његова функционалност и примена. Кроз теоретске основе, преко анализа климатских услова, водног биланса и режима вода, затим преко мелиоративних основа, хидрауличког прорачуна и графичких прилога, дошло се до коначног решења којима је реализован овај рад.*

Кључне речи: *систем за наводњавање, центар пивот, линеари*

Abstract – *The paper presents the methodology for designing irrigation systems for agricultural areas of 320 ha in Maglic, its functionality, and its application. Through theoretical foundations, analyses of climate conditions, water balance, and water regimes, as well as land reclamation principles, hydraulic calculations, and graphical illustrations, final solutions were reached, which have been implemented in this study.*

Keywords: *irrigation systems, center pivot, linears*

1. УВОД

Хидротехничка мелиорација је скуп хидротехничких мера, активности и грађевина којима се остварују оптимални услови за развој биљака.

Вода која се налази у активном слоју земљишта је једини доступан извор биљкама па је тако сврха хидротехничких мелиорација да се на вештачки начин регулише водни режим у активном слоју земљишта.

Главни радови у оквиру хидротехничких мелиорација су одводњавање и наводњавање.

2. НАВОДЊАВАЊЕ

2.1. Увод

Наводњавање је агротехничка мера, којом се тлу додају потребне количине воде како би се постигла оптимална влажност земљишта за одређену културу, што је услов за успешно гајење пољопривредних култура и остварења што већег приноса [1-2].

Правилно примењено наводњавање ствара повољан хидролошки режим у вегетационом периоду, јер надокнађује дефиците воде и хранљивих материја, прераспоређује воду у времену и простору, утиче на микроклиму приземног слоја атмосфере, на температуру земљишта и биљака и на биолошке процесе у земљишту.

Успешност наводњавања зависи од квалитетног одводњавања сувишне воде са пољопривредног тла.

2.2. Кратак историјат

Немогуће је са сигурношћу установити где се и у којој мери развило наводњавање. Изузетак су писани трагови на споменицима и путописи познатих писаца, међутим путописи често нису поуздани, јер често садрже податке о неким грађевинама које аутор није лично видео, већ их је сазнао од локалног становништва [3].

Без обзира на наведене недоумице готово је сигурно да се наводњавање у организованом облику појавило у подручјима река Тигра и Еуфрата у Малој Азији, али и у другим алувијалним долинама (Далеки исток, Египат), и то приближно око 4.000 – 5.000 година пре нове ере заједно са процватом цивилизације у тим подручјима.

3. РЕЖИМ НАВОДЊАВАЊА

3.1. Норма наводњавања

Норма наводњавања представља количину воде која се доводи системом наводњавања на један хектар површине засејане неком културуом за цео период наводњавања.

Разликујемо нето и бруто норму наводњавања. Нето норма наводњавања је количина воде коју утроше биљка и земљиште на евапотранспирацију. Бруто норма наводњавања се добије када се нето норми наводњавања додају губици воде на заливање [4].

3.2. Расположиве воде у вегетационом периоду

Вода у тлу која је на располагању биљкама током вегетационог периода потиче од воде која се налази у тлу на почетку вегетације, од падавина и од подземне воде која се кроз капиларе тла подигне до коренове зоне.

3.3. Прорачун потреба у води

Потребна вода одговара вредностима евапотранспирације, а она се може одредити директним мерењем на огледном пољу и преко емпиријских релација попут Blaney-Criddle методе или Penman-ова формуле.

3.4. Оптимални интервал влажности и заливна норма

Доњи интервал оптималне влажности се најчешће везује за проценат од пољског водног капацитета. Што се тиче горњег интервала оптималне влажности искуства указују да је он код лаких и средње тешких земљишта једнак пољском водном капацитету.

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Горан Јефтенић.

3.5. Заливни режим и одређивање времена заливања

Заливни режим се не може унапред прописати за наредну вегетациону сезону јер он директно зависи од падавина и температуре која ће се јављати.
Методе за његово одређивање могу се свести у три групе [4]:

- Земљиште – према влажности земљишта
- Биљка – према унутрашњим и спољашњим променама на биљци
- Евапотранспирација

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ЗАЛИВНОГ СИСТЕМА

4.1. Хидромодул наводњавања

Хидромодул наводњавања представља потребну способност опреме да надокнади дефиците у води при наводњавању. Изражава се преко потребне количине воде у јединици врема по једном хектару (l/s/ha).

Просечан хидромодул у вегетационом периоду је [4]:

$$q = \frac{\sum m}{T_n} \qquad (1)$$

4.2. Турнус наводњавања

Турнус наводњавања представља време између два наводњавања, то јест време за које ће уређај за наводњавање поново да се врати у почетни положај.

5. ЕЛЕМЕНТИ ЗАЛИВНОГ СИСТЕМА

5.1. Захват воде

Потребна количина воде за наводњавање се добија захватањем из:

- природних и вештачких водотока
- језера и акумулација
- захватом подземних вода
- коришћењем отпадних вода

5.1. Дистрибуциона мрежа

Воду која се захвати на неки од описаних начина треба дистрибуирати на заливна поља, односно до уређаја за кишење. Дистрибуција воде се може вршити отвореним каналима гравитацином и цевоводом под притиском.

5.1. Одводна мрежа

Одводна мрежа служи да скупља и одводи сувишну површинску воду која се формира у систему за наводњавање.

6. ТЕХНИКЕ НАВОДЊАВАЊА

Постоје четири технике наводњавања [5]:

- Површинско наводњавање
- Подземно наводњавање
- Локализовано наводњавање „кап по кап“
- Наводњавање вештачком кишом

У раду је изабрано наводњавање вештачком кишом. Уређаји за кишење се према правцу кретања деле на:

- машине са паралелним кретањем у односу на две границе парцеле које могу да се снабдевају водом из канала, при чему се крећу паралелно са дужом страном парцеле и каналом. Те машине називамо „ренџери“. Такође, ове машине могу да се снабдевају водом путем укопаних цевовода, тада се крећу паралелно са цевоводом и њих називамо „линеари“.
- машине са кружним кретањем или „центар пивот“ машине, које се водом снабдевају преко хидранта или из бунара.

7. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

Пољопривредно добро „Маглић“ из Маглића обрађује 1900 ha пољопривредног земљишта. Од тога, 1200 ha је већ обухваћено системом за наводњавање.

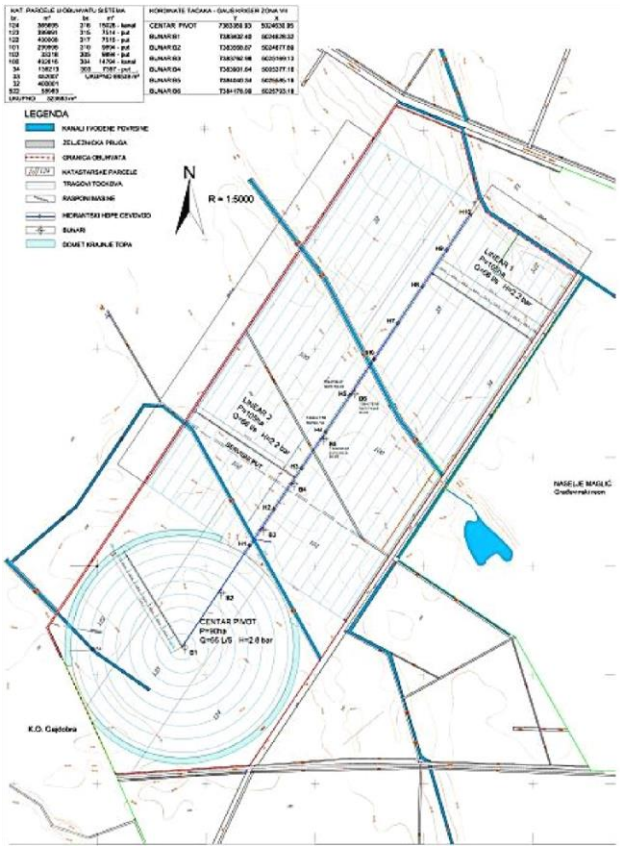
Већи део пољопривредног земљишта у планираном обухвату је у власништву Министарства пољопривредне, а мањи централни део је у власништву ПД „Маглић”.

Предвиђени систем за наводњавање на предметној површини земљишта од 324 ha налази се на западној страни села Маглић.

Слика 1. *Прегледна ситуација*

Северну границу посматраног пољопривредног земљишта чини регионални пут Нови Сад – Сомбор. Источну страну ограничава макадамски транзитни пут, земљани пут целом дужином комплекса представља западну границу, док јужну границу представља железничка пруга Нови Сад – Оџаци.

Терен је највећим својим делом раван са доминантним котама 83.50-84.00 mnm и на терену постоје линијске депресије из правца северозапад-југоисток. По тим депресијама су изграђени канали који омогућавају брзу евакуацију воде која се слива са виших терена околног земљишта.



Слика 2. *предметна површина од 324 хектара*

7.1. Анализа климатских услова

По географском положају општина Бачки Петровац се налази у области умерено-континуалне климе и са становишта пољопривреде има климатске предуслове који одговарају гајењу основних ратарских култура, док се повртарске културе могу гајити само у системима за наводњавање.

Општина Бачки Петровац има своју хидрометеоролошку станицу која је у саставу станица РХМЗ Србије, те је анализа климатских елемената извршена за све елементе који су потребни за одређивање референтне евапотранспирације:

- температуру ваздуха
- падавине
- пелативну влажност ваздуха
- ветар

7.2. Водни биланс

Водни биланс представља промене садржаја воде у активном слоју земљишта, при чему у обзир треба узети све елементе прихода и расхода воде

Први корак у одређивању расхода воде је изачунавање евапотранспирације.

Утврђивање дефицита воде ће се добити преко поједностављеног облика једначине водног биланса:

$$\Delta V = P - ET \qquad (2)$$

Како је приликом пројектовања система за наводњавање потребно одредити дефицит воде за вршни месец (јул, август), вршиће се статистичка обрада тих података, тако што ће се од њих формирати опатајући статистички низ за који се рачуна емпиријска вероватноћа по виблу.

$$p = \frac{n}{N+1} \qquad (3)$$

Добијене емпиријске вероватноће се наносе на нормални папир вероватноће и аппроксимирају се правом линијом.

Са тако добијеног графика се очитавају дефицити одредећеног повратног периода.

У хидро-мелиорацијама уобичајено је да се технички елементи димензионишу на десетогодишњи повратни период, те се као меродаван податак усваја дефицит десетогодишњег повратног периода за месец јул (јер је критичнији) и износи 152,5mm.

7.3. Мелиоративни део

Укупна површина од 300 ha се дели на 6 поља од по 50 ha. На датој површини се предвиђа следећи плодоред:

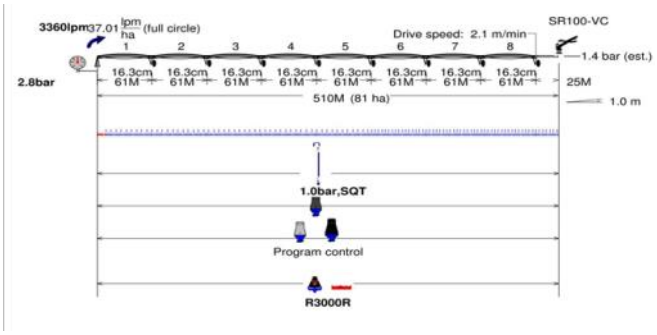
- Озима пшеница 50 ha
- Индустријски кромпир 50 ha
- Озими јечам + пострни кукуруз 50 ha
- Шећерна репа 50 ha
- Соја 50 ha
- Семенески кукуруз 50 ha

За тај пројектовани плодоред се на основу усвојеног водног дефицита од 152,5mm одређује се хидромодул система, и он износи q = 0.66 l/s/ha.

Потребан проток који треба да се обезбеди на водозахвату износи Q= 198 l/s.

Како на парцели 100 већ постоје 2 бунара, за обезбеђивање тог сумарног протока користиће се бунари, односно група од шест ПВЦ бунара, где ће сваки бунар бити капацитета Qb= 33 l/s.

За јужни део површине, где је геометрија нарушена од стране железничке пруге и границе атара, предвиђа се „Valmont“ - центар пивот машина дужине 510,4 m



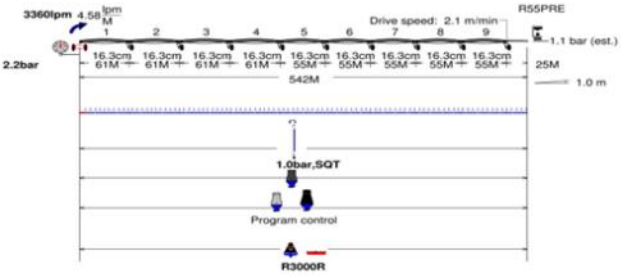
Слика 3. *Центар Пивот*

За преостали део система предвиђају се две идентичне „Valmont“ линеарне машине на црево, дужина машине 542,2 m

Све три машине су димензионисане на проток од 66 l/s, што значи да је за рад сваке машине потребан рад од два бунара

По питању притиска све три машине су димензионисане на улазни притисак од 2,8 бара, с тим што је код линеара улазни притисак у машину од 2,2 бара, а

притисак на хидранту који напаја црево линеара 2,8 бара.



Слика 4. *Линеар*

Предвиђају се регулатори притиска од 1 бара на изводима за рапрскиваче. Они ће одржавати константан захтевани проток по распрскивачима.

7.4. Хидротехничко решење

Захватање воде се врши путем шест бунара на размацима од по 250м који се налазе дуж главног цевовода на ростојању 12м управно од главног цевовода. Бунари се постављају у АБ шахтове. У бунаре се уграђују потапајуће бунарске пумпе, на коју се причвршћује челични цевовод ДН125. Из шахта излази прикључни цеовод ХДПЕ Д160 и преко Т комада се спаја са главним цевоводом.

За снабдевање центар пивот и линеара, предвиђен је цевовод ХДПЕ100 ПН6. Цеовод је пројектован за максимално оптерећење система и према најнеповољнији ситуацији да обе линеарне машине истовремено раде на крају главног цеовода.

На највишим тачкама терена постављају се ваздушни вентили, а у најнижим тачкама се постављају испусти за пражњење цевовода.

Први корак јесте одређивање потребних пречника цевовода. Потребни пречници за читав систем ће се добити на основу захтеваних протока и циљане брзине.

Након усвајања потребних пречника цевовода, рачунају се губици кроз цевовод, како би могли одредити потребан напор пумпе.

Хидраулички прорачун ХДПЕ хидрантског цевовода је извршен по формули Дарси – Вајсбаха, за дуге цевоводе, код којих локални губици чине до 10% укупних линијских губитака. Коефицијент трења је k=0,002mm.

Потребан напор пуме за линеаре је 58,05m уз потребан капацитет од 132 l/s, док за центар пивот потребан напор пумпе износи 43,28m, уз потребан капацитет од 66 l/s.

На основу тих података траже се одговарајуће потапајуће бунарске пумпе, које ће моћи да задовоље те вредности.

За део система под центар пивотом усвајају се две, а за део система под линеарима 4 потапајуће пумпе следећих карактеристика:

$$Q= 35\ l/s;\ H = 65\ m;\ P = 42\ kW;\ \mu = 53,5\ \%$$

8. ЗАКЉУЧАК

Наводњавање представља један од битнијих фактора повећања приноса и побољшања квалитета усева. Применом различитих метода наводњавања, могуће је ефикастно искористити расположиве водне ресурсе и смањити губитке воде на испаравање и отицање.

Системи наводњавања, примењени у овом раду, лиенар и центар пивот, представљају технолошко напредна решења која омогућавају ефикасно наводњавање пољопривредних површина, велику продуктивност, могућност прилагођавања и покривања великих површина као и равномерну расподелу воде.

Узимајући у обзир теоретске основе описане у овом раду, анализом свих фактора потребних за одређивање оптималне количине воде за наводњавање као и за правилан избор и димензионисање система за наводњавање, испројектован је систем који ће моћи да надокнади дефиците воде, те да обезбеди повећање обима пољопривредне производње.

Даља истраживања треба да се усмере на развој иновативних техника наводњавања како би се смањио негативни утицај наводњавања на околину и како би се осигурала дугорочна одрживост пољопривреде.

9. ЛИТЕРАТУРА

[1] https://sh.wikipedia.org/wiki/Melioracija (приступљено у јуну 2023.)

[2] Срђан Колаковић, скрипта „Наводњавање“ са предмета „Хидротехничке мелиорације“

[3] Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу. Презентације, Хидротехнички објекти и системи, 7. Хидротехничке мелиорације

[4] Др Димитрије Авакумовић (1994). „Хидротехничке мелиорације наводњавање“. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду

[5] Грађевински факултет Свеучилишта у Ријеци. Друштво за одводњавање и наводњавање Хрватске-Загреб. Приручник за хидротехничке мелиорације II коло. Наводњавање. Књига 1. Опћи дио

Кратка биографија:

Синиша Џакула рођен је у Сомбору 1997. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смеру Грађевинарство – Хидротехника одбранио је 2023. године.

контакт: dzakulasinisa@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 625.7/.8
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG08Perunicic

ПРОЈЕКАТ РЕКОНСТРУКЦИЈЕ РАСКРСНИЦЕ УЛИЦА “БУЛЕВАР ЕВРОПЕ” И ”ФУТОШКИ ПУТ” У НОВОМ САДУ

DESIGN OF RECONSTRUCTION OF THE INTERSECTION OF “BULEVAR EVROPE” AND ”FUTOSKI PUT” STREETS IN NOVI SAD

Радош Перуничић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – *Овим радом разрађене су техничке основе и анализа примјене раскрсница са кружним током у градовима, као и идејно рјешење реконструкције раскрснице улица "Булевар Европе" и "Футошки пут" у Новом Саду. Пројектом је предвиђена примјена раскрснице са кружним током на мјесту постојеће класичне четворокраке раскрснице.*

Кључне речи: *кружна раскрсница, саобраћај, прегледност, идејно рјешење, ситуациони план*

Abstract – *This thesis presents technical foundations and analysis of roundabout intersections application in cities, as well as Preliminary design reconstruction of the intersection of “Bulevar Evrope” and ”Futoski Put” streets in Novi Sad. The design envisions application of roundabout intersection in the place of existing four-way intersection.*

Keywords: *roundabout, traffic, sight distance, preliminary design, layout*

1. ТЕОРЕТСКЕ ОСНОВЕ ЗА ПЛАНИРАЊЕ И ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПОВРШИНСКИХ РАСКРСНИЦА У ГРАДОВИМА

1.1 Увод

Градска путна мрежа је најважнији елемент саобраћајне основе града, па се у највећем броју случајева кроз пројектне услове за њене дионице дефинишу и услови за све остале видове саобраћаја.

Један од доминантних елемената градске путне мреже су површинске раскрснице. Оне представљају задовољавајуће рјешење за укрштање путних праваца са саобраћајним оптерећењем до 800 воз/ч.

Разликују се два примарна типа површинских раскрсница:

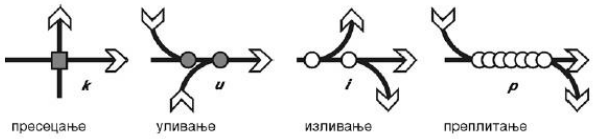
• **раскрснице са пресијецањем саобраћајних струја** - имају јасно дефинисан главни и споредни правац, при чему се главном правцу даје првенство пролаза;
• **кружне раскрснице** – саобраћајне струје имају исте услове, првенство пролаза имају возила која су у раскрсници, док сви остали чекају да се улију у кружни ток.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Милош Шешлија.

1.2 Конфликтне и колизионе тачке

При организацији раскрснице треба се водити тиме да се што је више могуће смањи број пресијецања саобраћајних струја, а самим тим и број конфликтних тачака, тј. мјеста на којима постоји опасност од судара великом енергијом.



Слика 1 - Карактеристични типови конфликтних и колизионих тачака возила

Основна предност кружних раскрсница у односу на раскрснице са пресијецањем саобраћајних струја је што се сви маневри одвијају као уливање, изливање и преплитање. Нема конфликтних тачака, осим пјешачких прелаза на уласку и изласку из раскрснице, на којима ће пјешаци увијек имати предност у односу на возила.

1.3 Организација пресјечних праваца

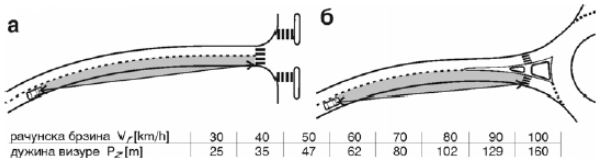
Проблеми регулисања односа између различито оријентисаних саобраћајних струја прогресивно расту са порастом броја кракова раскрснице.

Већ у раним фазама пројектовања, раскрснице треба свести на максимално четири уливна крака, јер би у супротном број конфликтних и колизионих тачака био недопустиво велики, тј. било би немогуће обезбиједити задовољавајуће одвијање саобраћаја.

1.4 Спољна прегледност површинске раскрснице

У циљу благовременог сагледавања стања у подручју раскрснице, мора се обезбиједити потребна дужина визуре у широј зони приступа раскрсници.

У овој зони се не смију наћи било какве покретне или непокретне препреке које би ометале прегледност, сем појединачних релативно уских објеката (стубови за освјетљење и свјетлосну сигнализацију, високо зеленило итд.)



Слика 2 - Спољна прегледност површинске раскрснице

2. ПРИМЈЕНА РАСКРСНИЦА СА КРУЖНИМ ТОКОМ У ПРОЦЕСУ ПРОЈЕКТОВАЊА ГРАДСКИХ САОБРАЋАЈНИЦА

2.1. Историјски развој раскрсница са кружним током

Први концепт кружног саобраћајног тока дао је Ежен Енар 1903. године, док је прва практична примјена кружног система Columbus circle у Њујорку, изграђен 1905. године.

У почетку нису постојала специфична правила за понашање возача у кружним раскрсницама, па су многе од њих замијењене класичним. Увођење права првенства возила у кружном току у Великој Британији 1966. године омогућило је опстанак ових раскрсница, и повећало како капацитет, тако и безбједност.

Савремене раскрснице са кружним током поново су представљене у Европи шездесетих и седамдесетих година. Резултати које су кружне раскрснице показале на пољу безбједности и капацитета довеле су до огромне заинтересованости за њих у многим земљама, па је у 1992. години, пораст имплементације савремених раскрсница са кружним током дошао до нивоа од 1000 раскрсница годишње.

2.2. Класификација раскрсница са кружним током

Код површинских раскрсница са кружним током примјењују се елементи који се битно разликују од класичних раскрсница са пресијецањем саобраћајних струја.
Основни елемент јесте кружни подионик који принудно усмјерава путање свих возила која улазе у раскрсницу, независно од њихове оријентације.

Разликују се три врсте кружних токова у градској мрежи:

- **Мини кружне раскрснице** се примјењују искључиво на локалној путној мрежи, са основним циљем смањења брзине кретања возила. Проходност већих возила (аутобуси и камиони) омогућена је вожњом преко централног острва. Раздјелна острва на прилазним крацима нису физичка, већ само обиљежена на коловозу.

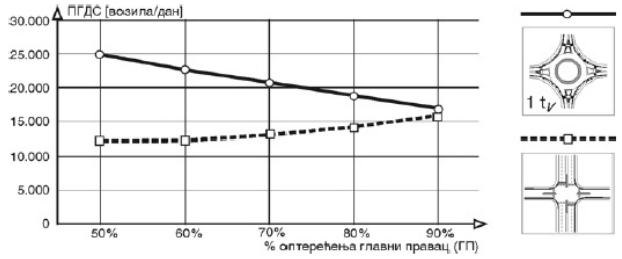
- **Класичне раскрснице са кружним током** имају издигнуто централно, као и раздјелна острва. Саобраћај у кружном току може се организовати са једном, двије или више трака. Поједине земље својим прописима не дозвољавају примјену раскрсница са више од двије саобраћајне траке у кружном току.

- **Кружне раскрснице са спиралним кружним током** су посебна врста вишетрачних кружних раскрсница, при којој су неки саобраћајни токови међусобно одвојени, односно вођени по физички одвојеним саобраћајним тракама. Физичко раздвајање се постиже елементима посебног облика који ограничавају (али не спречавају) промјену саобраћајних трака у кружној раскрсници. Прије саме раскрснице, али и у самом кружном току, сигнализацијом је назначено којом траком се возило креће од тренутка уласка у кружни ток, па све до његовог напуштања.

2.3. Основни критеријуми за избор типа раскрснице

Саобраћајно оптерећење и пропусна моћ

Примјена кружних раскрсница погоршава услове главног правца, односно изједначава главни и споредни правац по важности.
Уколико је саобраћајно оптерећење главног правца знатно веће, треба прибјећи примјени класичних раскрсница са пресијецањем саобраћајних струја.

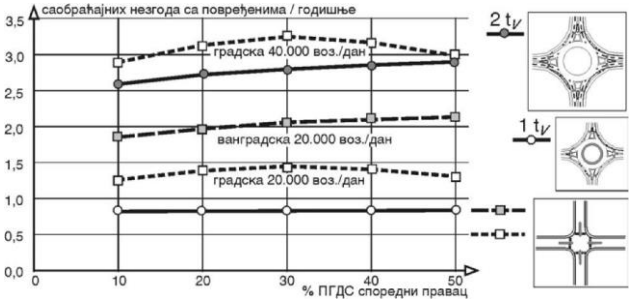


Слика 3 - Упоредни приказ укупне пропусне моћи различитих концепција

Предност кружне раскрснице је изражена у случају кад постоји равномјерно распоређено саобраћајно оптерећење на главни и споредни правац. Зависно од укупног оптерећења главног правца и процента лијевих скретања, средњи губитак времена на кружној раскрсници је 2-8 пута мањи у односу на класичне раскрснице са пресијецањем саобраћајних струја.

Параметри сигурности

По критеријуму сигурности, полазна предност кружних раскрсница је да се токови не пресијецају већ се ради о колизионим тачкама улива и излива. Она је додатно увећана чињеницом да у зони приступа раскрсници сва возила смањују брзину кретања зависно од величине кружног подионика.



Слика 4 - Упоредни приказ нивоа сигурности различитих концепција

Компаративни приказ саобраћајних незгода са повријеђенима указује на релативно виши ниво сигурности кружних раскрсница при истим нивоима оптерећења.

Временски губици

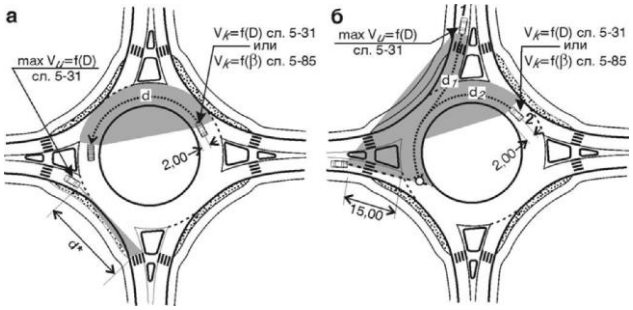
Временски губици возила у зони површинске раскрснице обухватају вријеме вожње или стајања у колони и вријеме проведено на линији заустављања, као посљедица чекања појаве одговарајућих временских празнина у конфликтном кружном току.
Са порастом интензитета лијевих скретања, значајно расту средњи губици времена, а кружне раскрснице по овом показатељу показују значајне предности.

Просторно уклапање
Осим заједничке површине у којој се јављају конфликтне и колизионе тачке, раскрсницу чине и зоне у којима возило прилази раскрсници, престројава се и чека. Кружне раскрснице заузимају већу површину у конфликтној, односно колизионој зони, док површинске раскрснице са пресијецањем саобраћајних струја заузимају већу површину на прилазу раскрсници.

Јавни градски превоз и кретање пјешака
У случају кружних раскрсница, возила јавног градског превоза нису привилегована у односу на остала возила. Да би се њима обезбиједила предност, морала би се примијенити свјетлосна сигнализација, што би довело до кршења основног концепта кружне раскрснице. Као посљедица просторних размјера кружних раскрсница, кретања пјешака и бициклиста се неминовно продужавају и имају релативно индиректну путању, на основу чега се увиђа да класичне раскрснице имају предност са становишта пјешака.

2.4. Пројектни елементи кружне раскрснице

Прегледност у кружним раскрсницама
Прегледност у подручју кружне раскрснице мора бити компатибилна са начином функционисања. Возила у кружном току увијек имају предност, па им се мора омогућити адекватна прегледност.



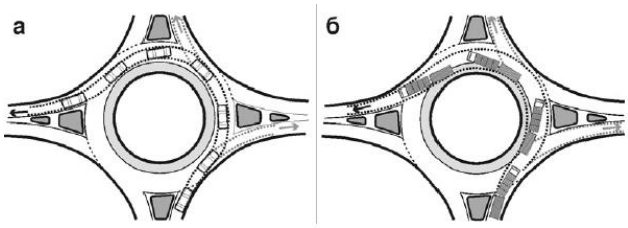
Слика 5 - Зоне прегледности у подручју кружне раскрснице

У зони кружног коловоза, двије ситуације су мјеродавне: прва подразумијева да возило које скреће десно има довољну дужину (**d***) визуре заустављања прегледности мјерено у односу на пјешачки прелаз у зони излива, док се друга односи на могућност налијетања на препреку или возило испред на кружном коловозу (**d=Pz**), уз претпоставку да се возила налазе 2.00m од ивице кружног подионика.

Ситуациони план кружне раскрснице
Ситуациони план је, уз попречне и подужне профиле, основни елемент сваког путног правца или његовог дијела. Геометријско обликовање спољних ивица почива на полазној поставци да се примијене кружне кривине комбиноване од два различита полупречника, као и да се за маневар изливања обезбиједе повољнији елементи и ширине коловоза.

Проходност мјеродавних возила
На највећем броју кружних раскрсница примарне градске путне мреже, као мјеродавно возило за пројектовање обично се примјењује тешко теретно возило или аутобус, а на слабије оптерећеним раскрсницама средње тешко теретно возило.

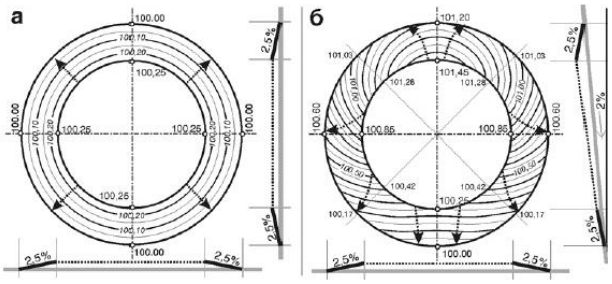
За возила која захтијевају елементе веће од мјеродавних, врши се додатно проширење кружног коловоза на рачун кружног подионика како би се обезбиједила њихова проходност.



Слика 6 - Минимална проходност кружног коловоза: а) путнички аутомобил; б) тешко теретно возило са приколицом

Нивелациони план кружне раскрснице
Генерални концепт нивелације подразумијева да је кружна раскрсница у хоризонтали са попречним нагибом кружног коловоза усмјереним од подионика ка спољној ивици, што је могуће постићи код новоградње одговарајућим вођењем нивелете пресјечних праваца.

Полазни концепт одводњавања уз спољну ивицу кружног коловоза је циљ који је могуће остварити у одређеним условима кроз повољан избор осовине витоперења и положаја рампи уз сталну контролу дужине и облика путање воде која се слива.



Слика 7 - Нивелациони план кружног коловоза: а) хоризонталан терен; б) терен у благом нагибу

Надградња кружне раскрснице
Укупни капацитет и ниво услуге кружне раскрснице зависи од капацитета и нивоа услуге улива. Уколико се појави проблем недовољног капацитета, тј. неприхватљивог нивоа услуге кружне раскрснице, могућности су релативно ограничене.

Препоручљиво решење је издвајање десних скретања из кружног тока у посебну траку. Тим захватом се избјегава примјена тротрачног кружног коловоза који је проблематичан са становишта сигурности саобраћаја.

3. ПРОЈЕКАТ РЕКОНСТРУКЦИЈЕ РАСКРСНИЦЕ УЛИЦА “БУЛЕВАР ЕВРОПЕ” И “ФУТОШКИ ПУТ” У НОВОМ САДУ

Пројектним задатком Мастер рада предвиђена је реконструкција постојеће раскрснице улица “Булевар Европе” и “Футошки пут” у Новом Саду.

У постојећем стању предметна раскрсница представља четворокраку раскрсницу која и на главном и на споредним правцима има шест саобраћајних трака, по три саобраћајне траке по смјеру. Саобраћај на раскрсници регулисан је свјетлосном саобраћајном сигнализацијом.

3.1. Ситуационо рјешење

Осовина улице “Булевар Европе” је дефинисана у правцу стационаже од км 0+000.00 до 0+550.63. У постојећем стању на главном правцу постоји шест возних трака ширине по 3.5m, за сваки смјер вожње по три. Смјерови кретања су раздвојени раздјелним острвом ширине 3.0m. Укупан профил улице износи 24.0m (3x3.5+3.0+3x3.5=24.0).

Осовина улице “Футошки пут” је дефинисана у правцу стационаже од км 0+000.00 до 0+590.19. У постојећем стању на главном правцу постоји шест возних трака ширине по 3.5m, за сваки смјер вожње по три. Смјерови кретања су раздвојени раздјелним острвом ширине 3.0m. Укупан профил улице износи 24.0m (3x3.5+3.0+3x3.5=24.0).

Новопројектованим рјешењем предвиђена је изградња кружне раскрснице пречника D=42m, уз издвајање трака за десна скретања на посебан коловоз. Централно острво је пречника D=23m, уз прегазни дио ширине 2m.

3.2. Нивелационо решење

Новопројектована нивелета је апроксимирана по постојећем стању, уз побољшање подужног нагиба ради бољег одводњавања. Пројектоване нивелете су на почетку и крају уклопљене у постојеће стање.

Нивелационо решење представљено је у посебном графичком прилогу изохипсама, еквидистанције 2.0cm.

3.3. Ивичњаци

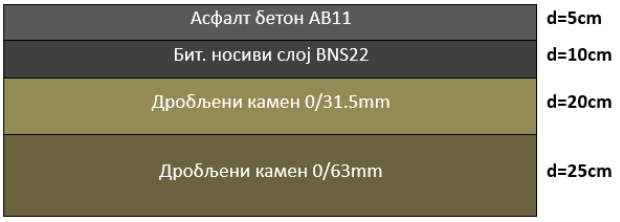
За оивичење коловоза на правцу, на уливним и изливним тракама предвиђени су бетонски ивичњаци 20/24cm. На мјестима пјешачких прелаза преко коловоза предвиђени су ивичњаци 12/18cm са надвишењем од +2 cm, док је прегазни дио острва оивичен ивичњацима 18/24cm са надвишењем од +3 cm.

3.5. Коловозна конструкција

Димензионисање коловозне конструкције за кружну раскрсницу врши се према важећем стандарду SRPS.U.C4.012.

Подтло на коме се гради насип за раскрсницу је од пјесковито-глиновитог и глиновито-шљунковитог материјала. Грађење насипа се предвиђа од шљунковитог материјала и дробљеног камена.

Доњи носећи слој ће се градити од невезаног каменог материјала, а очекивани CBR је 40%. Претходни асфалт и носећи слојеви коловозне конструкције ће се уклонити до потребне дубине јер њихова гранулација и збијеност није у складу са прописима, и као таква не би била одговарајућа за захтијевано саобраћајно оптерећење. Усвојена коловозна конструкција је следећег састава и дебљине слојева:



Слика 8 - Попречни пресјек коловозне конструкције

3.5. Збирна рекапитулација радова у зони раскрснице

1	ПРИПРЕМНИ РАДОВИ	1179586.26
2	ЗЕМЉАНИ РАДОВИ	6107696.65
3	ГОРЊИ СТРОЈ	38304604.03
4	ОСТАЛИ РАДОВИ	1132110.15
	УКУПНО	**46723997.08**
	*НЕПРЕДВИЂЕНИ ТРОШКОВИ (5%)	2336199.854
	РЕКАПИТУЛАЦИЈА	**49060196.94**

Слика 9 - Збирна рекапитулација радова у зони раскрснице (у динарима)

Детаљан предмјер и предрачун радова у зони раскрснице дат је у посебном прилогу у оквиру рада.

4. ЗАКЉУЧАК

Изградња кружног тока на предметној локацији довела би до побољшања нивоа услуге раскрснице и повећања сигурности свих учесника у саобраћају, смањењем броја конфликтних тачака. С обзиром да је ова раскрсница једна од најоптерећенијих у граду, њеном реконструкцијом би се повећао проток, скратило непотребно вријеме чекања, те умањило загађење ваздуха и ниво буке.

Иако је у пракси тешко задовољити све параметре који утичу на саму раскрсницу и најчешће долази до међусобне супротности критеријума, наведене чињенице указују на велики потенцијал и исплативост новопројектованог рјешења.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] Малетин, М.: *Планирање и пројектовање саобраћајница у градовима*, Орион-Арт, Београд 2009.

[2] Малетин, М.: *Основе планирања и пројектовања кружних раскрсница у градовима*, Грађевински факултет у Београду

[3] Кењић З.: *Приручник за планирање и пројектовање кружних раскрсница*, ИПСА Институт Сарајево, 2009.

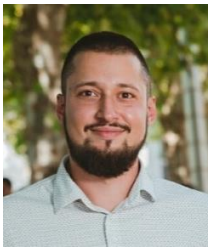
[4] Шеница Г., Милошевић Д.,: *Савремене раскрснице са кружним током – процес планирања,* Институт за путеве Београд, Завод за пројектовање "Траса"

[5] Сл. гласник РС број 50/11: *Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута*, Београд, 2011.

[6] ЈП Путеви Србије: *Приручник за пројектовање путева у Републици Србији*, Београд, 2012.

[7] Tollazzi T.: *Alternative Types of Roundabouts: An Informational Guide,* Springer, 2015.

Кратка биографија:



Радош Перуничић рођен је у Подгорици 1991. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смјеру Грађевинарство – Путеви, железнице и аеродроми, одбранио је 2023. године. Контакт: perunicicrados@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 628.21
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG09Vujicic

IDEJNO RJEŠENJE KANALIZACIJE OTPADNIH VODA NASELJA ČURUG

CONCEPTUAL DESIGN OF THE WASTEWATER SEWAGE FOR THE SETTLEMENT OF ČURUG

Marija Vujičić, Matija Stipić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – *U radu je izloženo idejno rešenje kanalizacije otpadnih voda za naselje Čurug do postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. S obzirom na lokaciju postrojenja i topografiju terena (ravničarski predeo) uz praćenje ograničenja minimalnih padova i dubine ukopavanja, za ispravno funkcionisanje kanalizacione mreže predviđeno je 12 crpnih stanica. Celokupna prikupljena otpadna voda naselja se glavnim kolektorom koji je trasiran duž ulice Dr Lazara Pačua odvodi do postrojenja za prečišćavanje otpadne vode, gde se podvrgava tretmanu pre ispuštanja u Mrtvu Tisu. Modeliranje mreže i hidraulički proračun su urađeni pomoću programskog paketa EPA SWMM.*

Ključne reči: *hidraulička analiza, otpadne vode, crpne stanice, prečistač otpadnih voda*

Abstract – *This paper presents a preliminary design for the sewage system for the settlement of Čurug to the wastewater treatment plant. Taking into account the location of the plant, the topography of the terrain (plain area), and following the limitations of minimum slope and digging depth, 12 pumping stations are planned for the proper functioning of the sewage network. The entire collected waste water of the settlement is taken to the waste water treatment plant by the main collector, which is routed along Dr. Lazar Paučstreet, where it then goes under treatment before being discharged into Mrtva Tisa. Network modeling and hydraulic calculations were done by using the EPA SWMM software package.*

Keywords: *hydraulic analysis, wastewater, pumping stations, sewage treatment*

1. UVOD

Od ukupno 463 naselja, prema rezultatima popisa iz 2002 godine, u AP Vojvodina samo oko 10% naselja ima neki od oblika kanalizacije otpadnih voda, dok je stopa prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda izuzetno niska. Na gradska postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda priključeno je 11% stanovnika, a svega 7% na postrojenja koja su u funkciji [1].

Na prostoru naselja Čurug ne postoji kanalizacioni sistem, pa se otpadne vode odvode iz domaćinstava putem individualnih septičkih jama, koje većinom nisu građene po tehničkim standardima, njihov sadžaj se nekontrolisano ispušta, usljed čega se neposredno ugrožava životna sredina i vodni resursi [2].

U cilju poboljšanja životnog standarda, u skladu sa tehno-ekonomskom analzom, u ovom radu dato je idejno rešenje kanalizacione mreže naselja Čurug. Projektovan je kanalizacioni sistem kojim se skuplja i odvodi otpadna voda iz domaćinstva i industrije putem PVC kanalizacionih cevi do postorojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

2. TEHNIČKI IZVEŠTAJ

Čurug sa 34,23% ukupne površine je prostorno najveće u opštini Žabalj, koja priprada Južnobačkom okrugu. Nalazi se na severnom delu teritorije opštine Žabalj, gde se svojim jugoistočnim delom oslanja na reku Tisu, dok se severnim delom oslanja na Staru Tisu (Mrtva Tisa).

Ukupna površina naselja je 13 679 ha, od čega je 10 288 ha obradivo poljoprivredno zemljište.

Popis stanovništva iz 2011. godine pokazuje da naselje Čurug ima 8166 stanovnika [3].

Na osnovu podataka za naselje Čurug, primetan je opadajući trend u ukupnom broju stanovnika između poslednja dva popisa stanovništva. Depopulacija stanovništva je uslovljena stihijskim iseljavanjem stanovništva u okolne gradove, kao i smanjenjem pirodnog priraštaja. Tendencija opadanja se očekuje i u narednom periodu, pa se kao merodavan broj stanovnika za dimenzionisanje fekalne kanalizacione mreže usvaja trenutni broj stanovnika N=8166 st.

3. KANALISANJE NASELJA-OPŠTE ODREDBE

Projektovanje kanalizacionih sistema je proizvod teorijskog znanja i praktičnog iskustva. Danas se pri projektovanju kanalizacije primenjuje niz smernica i preporuka koje su proizašle iz dugogodišnjih praktičnih iskustava, i one treba da posluže kao osnova za projektovanje, analiziranje, i donošenje odluka, uz prilagođavanje lokalnim uslovima.

Otpadne vode se dele na:

- Upotrebljene vode iz domaćinstva
- Upotrebljene vode iz industrije
- Atmosferske vode

Odabir sistema kanalisanje (načina evakuacije otpadnih voda) zavisi od mnogih faktora: broja stanovnika, topografskih karakteristika, sanitarnih zahteva, tehničko-ekonomskih pokazatelja i sl.

Kanalizaciona mreža naselja Čurug je predviđena kao separacioni sistem kanalisanja, u kojem se upotrebljene vode iz domaćinstva i industrije odvode putem zatvorene cevne mreže, dok se atmosferske vode evakuišu preko postojećih otvorenih kanala.

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Matija Stipić.

Što se tiče režima tečenja imamo gravitacionu kanalizaciju, kanalizaciju pod pritiskom i kanalizaciju sa podpritiskom. U ovom radu se razrađuje rešenje kanalizacije sa gravitacionim tečenjem, koja podrazumeva tečenje sa slobodnom vodenom površinom, čime se omogućava slobodno strujanje vazduha i sprečava pojava neprijatnih mirisa.

Izbor odgovarajućeg materijala za kanalizacionu mrežu je jedan od osnovnih preduslova za osiguranje pouzdanog i sigurnog rada kanalizacionog sistema. Od materijala, spojeva, spojnih elemenata se zahteva, potrebna čvrstoća vodonepropusnost, trajnost, dobra hidraulička svojstva [4].

Koje cevi će biti primenjene zavisi od tržišnih uslova prilikom izgradnje objekta. Kod opredeljenja treba imati u vidu da kanalizacija predstavlja objekat koji se gradi za potrebe narednih 30-50 godina. Prednosti usvojenih PVC cevi su, glatka unutrašnja površina, samim tim, bolja hidraulička svojstva, mala specifična težina – lakša manipulacija, otpornost na pritisak i pucanje, otpornost na koroziju kao i jednostavna obrada.

Apsolutna (pogonska) hrapavost cevi, k, nije samo veličina mikro izbočina na zidu, nego je mera makro nepravilnosti duž cevi, načina spajanja, kvaliteta spojnica, polaganja u rov, istaložavanja, odstupanja prečnika od nominalne vrednosti [5]. Usvojen je koeficijent hrapavosti k=1,5 mm.

U kanalizacionim sistemima brzine se ograničavaju zbog toga što usljed velikih brzina tečenja dolazi do erozije i abrazije cevi delovanjem nanosa u otpadnoj vodi, dok usljed malih brzina dolazi do taloženja, samim tim i začepljenja cevi.

Najmanja brzina strujanja treba da bude 0,4 m/s pri dubini punjenja kanala 2-3 cm, ili 0,8 m/s kada je kanal pun do vrha. Smatra se da su ove brzine dovoljne da se čvrste čestice održe u suspenziji. Najveće brzine su ograničene na 3 m/s u punom profilu.

Minimalni pad (nagib) predstavlja tehničko-ekonomsku kategoriju gde se mora postići ravnoteža između efikasnosti sprečavanja taloženja i troškova izgradnje. Veći podužni padovi obezbjeđuju veću vučnu silu i smanjuju rizik od taloženja, ali mogu povećati troškove izgradnje kanalizacije, posebno u ravničarskim predelima. U radu su usvojeni minimalni padovi cevi :

Ø250mm – Imin=2,70 ‰

Ø300mm – Imin=2,20 ‰

Ø400mm – Imin=2,00 ‰

Ograničenje minimalnih profila predviđa se zbog prisustva različitih otpadnih materijala, gde postoji opasnost od začepljenja cevovoda i da bi se olakšalo čišćenje kanalizacionih kolektora, bez obzira na veličine minimalne brzine toka i stepena ispunjenosti profila. U radu su usvojeni minimalni prečnici Ø250mm.

Visina punjenja cevi uvodi se kao preventivna mera kako bi se sprečila pojava tečenja pod pritiskom, u slučajevima da nivo otpadne vode u kanalizaciji pređe određene vrednosti. Stepen punjenja u kanalima za upotrebljenu vodu, treba da bude najviše 50 do 70%.

Dubina polaganja kanala zavisi od klimatskih uslova, dubine priključaka, geomehaničkih osobina tla, pojavi i dubini podzemne vode, položaja ostalih instalacija, spoljnog opterećenja (građevine i saobraćajnice), veličine profila kanala, vrste kanala. Minimalna početna dubina ukopavanja je 1,4 m, što osigurava prioritet kanlizacione mreže, dok je maksimalna dubina ukopavanja 5,2 m.

4. ANALIZA MERODAVNE KOLIČINE VODE

Kućne otpadne vode:

Količine otpadnih voda iz domaćinstva koje dospevaju u kanalizaciju rezultat su različitih aktivnosti u domaćinstvu, i promene proticaja u kanalizacionoj mreži zavise od veličine i vrste naselja. Prilikom određivanja merodavnih količina upotrebljenih otpadnih voda iz domaćinstva potrebno je poznavati:

- broj stanovnika na kraju projektovanog perioda – N
- specifičnu potrošnju vode - q_{spec} $[l/st/dan]$ -potrošnja vode u litrima po jednom stanovniku u jednom danu.

Industrijske otpadne vode:

Količine vode koje ispušta industrija je teško proceniti jer su specifične za svaki proizvodni proces.

Za industrijska i privredna područja preporuke za količinu industrijske otpadne vode su:

aktivnosti sa manjom potrošnjom vode: q_{ind}=0,2 do 0,5 l/s/ha

aktivnosti sa srednjom do velikom potoršnjom vode: q_{ind}=0,5 do 1,0 l/s/ha. *[6]*

Procedne vode:

To su najčešće podzemne vode koje se preko spojeva na mreži (cevi, šahtovi) infiltriraju u kanalizaciju. Količina ovih voda zavisi od veličine slivnog područja, geoloških, hidrogeoloških i hidroloških svojstava područja, kvaliteta izvedenih radova, starosti kanalizacione mreže. Procenu količine ovih voda je teško odrediti, postoje merenja koja pokazuju da infiltracija varira u opsegu od 30 do 160 m^3 /dan po km mreže.

5. HIDRAULIČKI PRORAČUN KANALIZACIONE MREŽE NASELJA ČURUG

Polazni podaci za hidraulički proračun kanalizacione mreže su:

- broj stanovnika na kraju projektnog perioda
- količina upotrebljene vode naselja, javnih objekata, industrije i infiltracija
- koeficijenti neravnomernosti stanovništva i industrije
- merodavna specifična potrošnja

Količina otpadne vode od stanovništva i javne potrošnje:

Usvojena specifična dnevna potrošnja vode po stanovniku na dan q_{spec}=130l/st/dan

$$Q_{sr,dn} = q_{spec} * N$$

N- ukupan broj stanovnika

$$Q_{max,dn} = Q_{sr,dn} * K_{max,dn}$$

$K_{max,dn}$- koef.dnevne neravnomernosti

$$Q_{max,h} = Q_{sr,dn} * K_{max,čas}$$

$K_{max,čas}$- koef.časovne neravnomernosti

Količina otpadne vode od industrije:

$$Q_{ind} = q_{ind} * A$$

Količina otpadne vode od infiltracije (strana voda):

$$Q_{inf} = q_{spec,inf} * L$$

Ukupna količina otpadnih voda:

$$Q_{max,dn,uk} = Q_{max,dn} + Q_{inf}$$

Ova količina vode se preko čvorne potrošnje unosi tako što se prvo definiše specifična deonična količina otpadne vode:

$$Q_{spec,deon} = \frac{Q_{max,dn,ukup}}{\Sigma L}$$

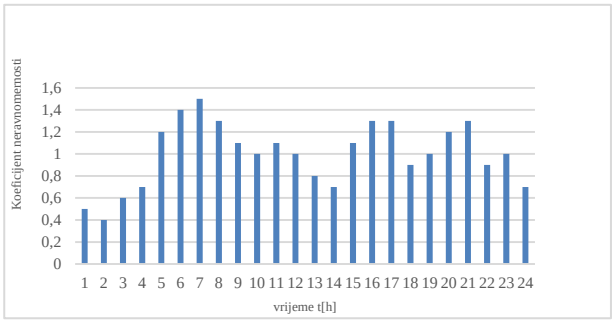
A zatim se za svaki čvor unosi konstantan proticaj, odnosno čvorno opterećenje:

$$Q_{cvor,i} = Q_{spec,deon} * \Sigma L_i \qquad (7)$$

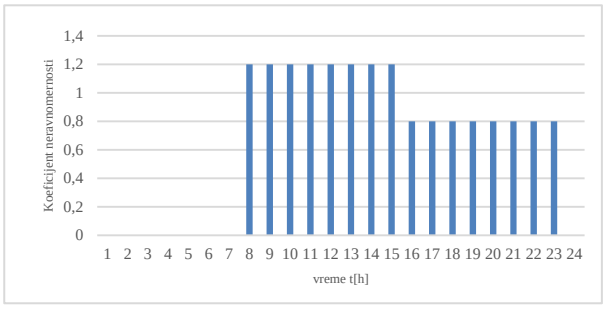
ΣL_i-nizvodna deonica od čvora

Količina otpadne vode od industrije se unosi kao tačkasto opterećenje u onim čvorovima gde je predviđena industrija.

Nakon čvornog opterećenja, definiše se dinamika potrošnje, odnosno časovna neravnomernost koja je različita za stanovništvo (Slika 1) i industriju (Slika 2).



Slika 1. Dijagram časovne neravnomernosti za stanovništvo

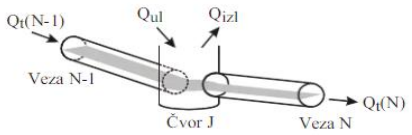


Slika 2. Dijagram časovne neravnomernosti za industriju

6. MODELIRANJE KANALIZACIONE MREŽE PRIMENOM PROGRAMSKOG PAKETA EPA SWMM

EPA Storm Water Management Model (SWMM) je dinamički, fizički baziran model, kojim se simulira proces transformacije padavina i upotrebljenih voda u oticaj. Program uzima u obzir različite hidrološke procese koji stvaraju oticaj na urbanim površinama, kao što su neravnomerne padavine, isparavanje stajaćih voda, akumuliranje i topljenje snega, infiltriranje padavina u nezasićene slojeve zemljišta, interakcija između podzemne vode i kolektorskog sistema, perkolacija, odnosno procurivanje infiltrirane vode u slojeve sa podzemnim vodama.

Za potrebe ovog rada iskorištena je jedna od mogućnosti softverskog paketa SWMM, što obuhvata modeliranje i analizu tečenja vode kroz mrežu kolektora, čvorova do postrojenja za prečišćavanje.



Slika 3. Koncept proračuna tečenja u mreži

Model se matematički oslanja na jednačinu kontinuiteta i dinamičku jednačinu, poznate kao de St. Venant-ove jednačine.

Jednačina održanja mase:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Dinamička jednačina:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \qquad (2)$$

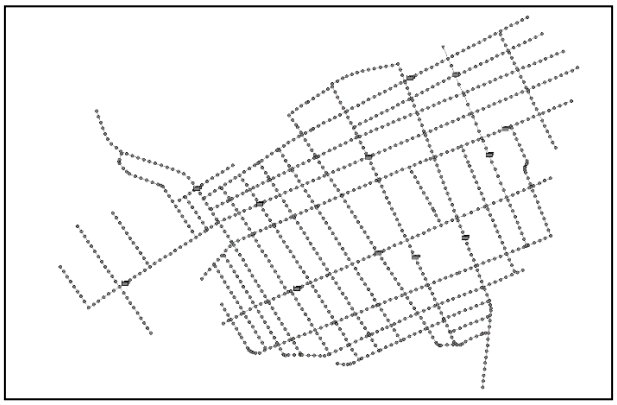
Potrebna je dodatna veza kontinuiteta za čvorove koji spajaju dve ili više cevi, zbog toga se u proračun uvodi jednačina kontinuiteta za čvor, u sledećem obliku:

$$\frac{\partial H}{\partial t_t} = \Sigma \frac{Q_t}{As_t}$$

Za rešavanje de St.Venant-ovih jednačina softver koristi tri modela:

- Model ustaljenog tečenja
- Model kinematskog talasa
- Model dinamičkog talasa

U radu je korišćen model dinamičkog talasa, koji rešava kompletne Sen-Venanove jednačine i na taj način daje najpreciznije rešenje.



Slika 4. Izgled modela fekalne kanalizacione mreže naselja Čurug u EPA SWMM-u

7. OBJEKTI NA TRASI KANALIZACIONE MREŽE

Revizioni šahtovi

Revizioni šahtovi su ključni elementi infrastrukture u sistemu odvodnje otpadnih voda, koji omogućavaju pristup kanalizacionim cevima radi čišćenja, održavanja i eventualnih popravki.

Predviđeni su vodonepropusni armirano betonski šahtovi (MB30) od prefabrikovanih elemenata, prečnika 1000mm sa završnim konusnim prstenom za ugradnju rama sa liveno-gvozdenim šaht poklopcem.

Crpne stanice

Budući da otpadna voda otiče kanalizacionom mrežom gravitaciono, na pojedinim mestima da ne bi došlo do prevelikog ukopavanja kanalizacionih cevi, rade se crpne stanice.

U naselju Čurug je usljed konfiguracije terena predviđeno 12 crpnih stanica kako bi se omogućio efikasan transport otpadne vode do krajnjeg recipijenta. Osnovni delovi crpnih stanica su: crpni bazen, zatvaračnice, upravljački deo, pumpe i potisni cevovod.

Crpni bazen je prostor koji služi za akumuliranje i podizanje otpadne vode na potrebni nivo. Veličina bazena zavisi od režima rada pumpi i karakteristika dotoka.

Prema kriterijumu dozvoljenog broja uključivanja pumpi u satu mogu se odrediti minimalne potrebne dimenzije crpnog bazena iz sledećeg izraza:

$$V_{min} = \frac{T_{min} + Q_c}{4} = 0.09 * Q_c$$

Zatvaračnice su šahtne konstrukcije koje služe za smeštaj opreme cevovoda, omogućavaju pristup i održavanje opreme cevovoda.

Potisni cjevovod, delimično je smešten u crpnom bazenu, a delimično u zatvaračnici. Njegova svrha je da omogući transport otpadne vode iz crpne stanice do zatvaračnice.

Pumpe su radne hidrauličke mašine koje mehaničku energiju dobijenu od motora predaju fluidu koji kroz njih protiče. U kanalizaciji se najčešće koriste centrifugalne pumpe koje imaju šire prolaze u radnom kolu i kućištu što doprinosi sprečavanju začepljenja pumpi sadržajima iz otpadne vode.

Upravljački deo crpne stanice podrazumeva opremu za automatski rad, manuelni rad, opremu za alarm i razna merila.

PPOV - Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda

Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda je predviđeno u severnom delu naselja Čurug na obali Stare Tise (Mrtva Tisa), to je praktično stajaća voda, sa oscilacijama nivoa od 78,87 do 73,37 mnm [2].

Tretiranje i prečišćavanje otpadnih voda uključuje ukanjanje čvrstih čestica, suspendovanih materija, razgradnju organskih materija, smanjenje koncentracije zagađivača kroz biološke i hemijske procese, kao i dezinfekciju vode.

Procesi prečišćavanja sa suspendovanom mikroflorom su danas veoma rasprostanjen vid primene aerobnog procesa prečišćavanja, metoda aktivnog mulja (AM) je najrasprostranjenija.

Postoje modifikacije postupka aktivnog mulja i za naselje Čurug se koristi SBR (Sequencing Batch Reactors) tehnologija.

Procesi koji se odvijaju u jednom SBR reaktoru su :

- Punjenje reaktora otpadnom vodom
- Proces biološke razgradnje (nitirifkcija).
- Proces taloženja
- Pražnjenje (dekantacija) reaktora
- Faza uklanjanja viška mulja
- Faza mirovanja.

8. ZAKLJUČAK

Doprinos ovog rada jeste u smanjenju zagađenja , unapređenju infrastrukture naselja, što ima pozitivan uticaj na ekološku, zdravstvenu i socijalnu dobrobit stanovništva, i dugoročno koristi lokalnoj zajednici.

Projektovana kanalizaciona mreža ukupne dužine L=43.574 m sa AB revizionim silazima prečnika 1000 mm, odvodi prikupljenu otpadnu vodu naselja do postrojenja za prečišćavanje, koje je locirano uz obalu Mrtve Tise. S obzirom na lokaciju postrojenja i topografiju terena (ravničarski predeo) uz praćenje ograničenja minimalnih padova i dubine ukopavanja, za ispravno funkcionisanje kanalizacione mreže predviđeno je 12 crpnih stanica. Cevi fekalne kanalizacione mreže su projektovane od tvrdog PVC-a (polivinil-hlorid), prečnika Ø250mm, Ø315mm i Ø400mm, sa padom od 0.2%, do 0.7%. Prečnik koji je dominantan u cevovodu je Ø250mm. Ispunjenost profila kanalizacionih cevi ide do 62%, što osigurava adekvatnu ventilaciju cevovoda. Za prečišćavanje otpadne vode primenjuje se mehaničko-biološki postupak, uz posebnu obradu mulja tzv. SBR postupak.

Pomoću programskog paketa EPA SWMM izrađena je hidraulička analiza opterećenja kanalizacionog sistema po čvorovima i deonicama.

U radu su dimenzionisani osnovni objekti kanalizacione mreže.

Rešavanje problema odvođenja otpadnih voda iz naselja Čurug se postiže izgradnjom kanalizacione mreže, tako da ona efikasno obavlja svoju funkciju, uz minimalne troškove izgradnje.

9. LITERATURA

[1] http://www.ekourbapv.vojvodina.gov.rs/wp-content/uploads/2018/09/sajt-strategija-vodosnabdevanja-i-zastite-voda-apv.pdf

[2] Regulacioni plan naselja Čurug, (Izmene i dopune UP MZ Čurug) Predlog plana

[3]https://sr.wikipedia.org/srec/%D0%A7%D1%83%D1%80%D1%83%D0%B3

[4] Margeta Jure. Kanalizacija naselja: odvodnja i zbrinjavanje otpadnih i oborinskih voda. Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2009.

[5] Marko V. Ivetić. Računska hidraulika Tečenje u cevima. Beograd, 1996.

[6] Pisana predavanja: doc. dr Matija Stipić, Komunalna hidrotehnika, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2016.

Kratka biografija:

Marija Vujičić rođena je u Sarajevu 1991. god. Diplomirala je na građevinskom odseku Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu 2017. godine na smeru Hidrotehnika. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti komunalne hidrotehnike – Idejno rješenje kanalizacije otpadnih voda naselja Čurug odbranila je 2023. godine.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 626/627
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG10Ljuboja

ИДЕЈНО РЈЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ ЗЕМЉИШТА У ЧЕНЕЈУ

CONCEPTUAL DESIGN OF IRRIGATION FOR AGRICULTURAL AREAS IN CENEJ

Тамара Љубоја, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – *У раду је приказана методологија пројектовања система за наводњавање пољопривредне површине од 240 ha у Ченеју, његова функционалност и примјена. Примјеном теоретске основе, преко анализа климатских услова, водног биланса и режима вода, затим преко мелиоративних основа, хидрауличког прорачуна и графичких прилога, дошло се до коначног рјешења којима је реализован овај рад.*

Кључне ријечи: *систем за наводњавање, центар пивот*

Abstract - *The paper presents the methodology of designing a system for irrigation of an agricultural area of 240 ha in Cenej, its functionality and application. By applying the theoretical foundations that follow the hydrotechnical solution through the water balance of the soil, climatic conditions, adequate mechanization, and finally, the hydraulic calculation, as well as graphic attachments, we came to the conceptual solution by which this work was realized.*

Keywords: *irrigation systems, centre pivot*

1. УВОД

Хидротехничка мелиорација је скуп хидротехничких мјера, активности и грађевина којима се остварују оптимални услови за развој биљака [1].
Представљају низ инжењерских техника и мјера које се примјењују како би се побољшало управљање водним ресурсима.
Основна подјела хидротехничких мелиорација је на:

- Наводњавање – вјештачко довођење воде у земљиште у сушним периодима.
- Одводњавање – одвођење сувишне воде и регулисање водног режима на тлу и у тлу.

2. НАВОДЊАВАЊЕ

2.1. Увод

Наводњавање је агротехничка мјера, којом се тлу додају потребне количине воде како би се постигла оптимална влажност земљишта за одређену културу. Правилно примјењено наводњавање ствара повољан хидролошки режим у вегетационом периоду, јер надокнађује дефицит воде и хранљивих материја, прераспоређује воду у времену и простору.

Успјешност наводњавања зависи од квалитетног одводњавања сувишне воде са пољопривредног тла.

2.2. Утицај наводњавања на земљиште

На наводњаваним површинама развија се богатија органска маса, која повољно утиче на образовање структуре земљишта.
Заливање капањем, подземно заливање и кишење при малом интензитету кише и малој величини капи чувају структуру земљишта.
Најопаснија појава усљед наводњавања је ерозија. Она се јавља при већим нагибом и великим брзинама. Уколико се ерозија не може спријечити, такве повшрине је потребно искључити из наводњавања.

3. РЕЖИМ НАВОДЊАВАЊА

3.1. Норма наводњавања

Норма наводњавања представља количину воде која се доводи системом наводњавања на један хектар површине засијане неком културуом за цијели период наводњавања [2].
Разликујемо нето и бруто норму наводњавања.
Нето норма наводњавања је количина воде коју утроше биљка и земљиште на евапотранспирацију.
Бруто норма наводњавања се добије када се нето нормама наводњавања додају губици воде на заливање [2].

3.2. Прорачун потреба у води

Потребна вода одговара вриједностима евапотранспирације. Евапотранспирација представља количину воде која се губи у процесима транспирације и евапорације са одређене површине у одређеном времену и одређује се директно мјерењем или индиректно преко емпиријске релације.

3.3. Водни биланс вегетационог периода

Водни биланс вегетационог периода врши се ради утврђивања потреба у води као и њиховог распореда у анализираном периоду. Биланс се врши за један хидролошки низ година за које имамо хидрометеоролошке податке (падавине, температуре, нивое подземне воде, итд) и за који симулирамо прорачун потреба у води у случају одређене пољопривредне производње [2].

3.4. Оптимални интервал влажности и заливна норма

Доњи интервал оптималне влажности се најчешће везује за проценат од пољског водног капацитета и ову

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Горан Јефтенић.

тачку влажности треба разликовати од тачке техничког минимума влажности чија је вриједност мања (50-60% ПВК).
Горњи интервал оптималне влажности је код лаких и срење тешких земљишта једнак ПВК, а код тешких је испод ове тачке.
Да би се одредила заливна норма осим познавања горење и доње границе потребно је познавати и дубину основне масе корјеновог система [3].
Заливна норма представља количину воде која се даје биљци једним наводњавањем.

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ЗАЛИВНОГ СИСТЕМА

4.1. Хидромодул наводњавања

Хидромодул наводњавања представља потребну способност опреме да надокнади дефиците у води при наводњавању. Изражава се преко потребне количине воде у јединици времена по једном хектару (l/s/ha).

Просјечан хидромодул у вегетационом периоду је [3]:

$$q = \frac{\sum m}{T_n} \qquad (1)$$

Овако добијен хидромодул се не користи код димензионисања опреме већ код планирања захвата из акумулације и планирања акумулационог простора

4.2. Турнус наводњавања

Представља вријеме између два наводњавања, тј. вријеме за које ће уређај за наводњавање поново да се врати у почетни положај и започне нови циклус.

5. ЕЛЕМЕНТИ ЗАЛИВНОГ СИСТЕМА

5.1. Захват воде

Захват потребних количина воде може се вршити у зависности од конкретних услова и то из: [3]
- природних и вјештачких водотока,
- језера и акумулација,
- захватом подземних вода и
- коришћењем отпадних вода.

5.2. Дистрибуциона мрежа

Воду која се захвати на неки од описаних начина треба дистрибуирати на заливна поља, односно до уређаја за кишење. Разликујемо два основна типа дистрибуционе мреже:
- довод отвореним каналима
- довод цјевоводом под притиском

Хидраулички прорачун

Енергетски губици на трење у цјевоводу се рачунају по принципима система под притиском [3]:

$$\Delta E = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (m)$$

Гдје је:

λ – коефицијент трења

L – дужина дионице (m)

D – унутрашњи пречник цијеви (m)

v – средња брзина (m/s)

6. ТЕХНИКЕ НАВОДЊАВАЊА

Избор технике наводњавања зависи од типа посједа, култура које се гаје, доступности воде и других фактора. Свака од техника има своје предности и мане, и треба се пажљиво размислити о избору како би се обезбиједила најбоља употреба воде и резултати. Постоје следеће технике наводњавања [4-5]:
- површинско наводњавање – методом површинског наводњавања вода потапа производну површину или се налази у браздама и влажи тло;
- наводњавање вјештачком кишом – вода се под притиском испушта у ваздух кроз мале отворе, дизне или млазнице;
- локализовано наводњавање, односно систем „кап по кап“ – ова техника смањује губитак воде кроз испаравање и отицање у земљиште које не задовољава потребе биљака;
- подземно наводњавање – вода се подземним путем доводи у непосредну зону корјена биљке.

7. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

7.1. Увод

Цјелокупна површина система је обрадива. Миран рељеф и парцеле правилног геометријског облика дају идеалне услове за избор најсавременије опреме за наводњавање. Површину заливног система пресијецају општински земљани путеви и мелиоративни канал. Укупна површина система је 240ха а чине је четири табле правилног геометријског облика. Савременом опремом за наводњавање, могуће је наводњавати 168 ха односно 70% површина.

Слика 1. *Прегледна ситуација*

Заливни систем налази се у К.О. Ченеј, 2.5 km југозападно од насеља Сириг, источно од аутопута Е-75 и западно од пута Нови Сад – Србобран.
У топографском погледу терен је цијелом површином раван до благо таласаст са котама између 81.00мнм и 82.50 mnm.

7.2. Хидротехничко рјешење

Наводњавање је предвиђено са 4 центар пивот машине. Нето наводњавана површина износи 170 ha а потребна количина воде 101 l/s. Изворište воде за наводњавање је подземни водоносни хоризонт. За напајање кишних уређаја предвиђен је систем бунара распоређен дуж цјевовода који ће упумпавати воду до

мјеста прикључка мобилне опреме за наводњавање. На систему је предвиђено укупно 6 бунара, дубине 45м, капацитета Q=20 l/s и висине дизања H=38 m. Заливни систем чине следећи објекти и опрема:

- водозахватни објекти – бунари
- дистрибутивни цјевовод
- мобилна опрема

7.2.1 Бунари

За напајање центар пивот машина предвиђени су вертикални бушени бунари. На систему је предвиђено укупно 6 бунара, дубине 62м. Рјешење подразумјева израду бунара директном методом бушења са уградњом PVC бунарске конструкције, пречника ∅315 mm у дужини од 60,5 m.

Растојење између бунара Б-1 и Б-2 је 60м, између бунара Б-3 и Б-4 је такође 60м а бунари Б-5 и Б-6 су независни, лоцирани су на 12м од стожера центар пивота.

7.2.2 Дистрибутивни цјевовод

Дистрибутивни цјевовод за напајање центар пивота је од полиетиленских цијеви ХДПЕ ПЕ-100 за притисак до 6 бара. Трасе цјевовода приказане су на ситуацији заливног система у графичком прилогу. Укупна дужина цјевовода износи 148м а пречник цјевовода је Ø160мм. Повезивање цјевовода са центар пивотом је преко ливено-гвоздених фазонских комада.

7.2.3 Мобилна опрема

На предметним парцелама наводњавање је предвиђено са четири центар пивот машине. Распоред и дужине машина диктирали су топографија терена, облик и величина парцела. Центар пивоти ЦП-1, ЦП-2 и ЦП-4 су опремљени са крајњим топом домета 32м. Стожерне машине за наводњавање (центар пивоти) крећу се око једне тачке на њиви остављајући трагове точкова погонских јединица у облику концентричних кругова.

8. ВОДНИ БИЛАНС ЗЕМЉИШТА

8.1. Анализа основних климатских елемената који улазе у прорачун водног биланса земљишта

Основни климатски елеменати који су потребни за израчунавање водног биланса земљишта су средње мјесечне температуре ваздуха и мјесечне суме падавина. Основни извори података осматрања ових метеоролошких величина су метеоролошки годишњаци које публикује Републички хидрометеоролошки завод. Најближа хидрометеоролошка станица за предметно подручје се налази у Римским Шанчевима код Новог Сада. Координате станице су: 45°20 с.г.ш и 19°51 и.г.д, на коти 84 mnm.

Анализе и прорачуни су урађени за временски период осматрања од 46 године, тачније од 1966. до 2012. године.

8.2. Прорачун потенцијалне евапотранспирације

Евапотранспирација представља ону количину воде која се троши процесима транспирације и евапорације са одређене површине у одређеном времену, и она може бити стварна или реална (SET) и потенцијална (PET).

У природним условима, биљке троше воду од падавина у периоду вегетације, од предвегетационих резерви влаге из земљишта, од подземне воде и дотока воде са стране. Количине воде су често ограничене, стога биљке не могу да задовоље све своје потребе за водом. Управо оваква потрошња воде представља стварну или реалну евапотранспирацију (SET), када биљке троше само онолико воде колико им је доступно.

Прорачун потенцијалне евапотранспирације је урађен методом Thorntwaite-a, који је добро прилагођен за умјерене климатске услове какви су у Војводини.

За потребе пројектовања и изградње система за наводњавање користе се падавине са најближе метеоролошке станице за минимум 20-25 година.

Најсушнија хидролошка година је година са минималном годишњом и вегетационом сумом падавина и са максималном сумом PET у вегетационом периоду.

Анализа водног биланса је показала да се у зимском периоду одвија акумулисање воде у земљишту, а у љетњем периоду пражњење. Односно резерве воде акумулиране током зиме почињу да се троше већ у мају, да би се до октобра потпуно утрошиле. Тада се јавља мањак воде у билансу који траје зависно од падавина и потенцијалне евапотранспирације најчешће до новембра. У новембру почињу да се попуњавају резерве приступачне воде у земљишту.

8.3. Хидромодул заливања

Хидромодул заливања је срачунат тако да може бити надокнађен мјесечни дефицит влаге од 138 mm. Рачунато је за мјесец август, јер она има већи дефицит од мјесеца јула.

$$q = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{T}} = \frac{138 * 10 * 1000}{30 * 22 * 3600} = 0{,}58 = 0{,}6\ l/s$$

Изразито сушне године ће се у критичним мјесецима (јул и август) наводњавати 22h дневно, (по два сата дневно су предвиђена за поправке и техничко-технолошки застој), 30 дана у мјесецу, а у осталим, мање сушним годинама, дневно радно вријеме ће бити одређено према утврђеном дефициту влаге. За предвиђено рјешење, коришћен је хидромодул машина и износи q=0,60 l/s/ha.

Прорачун кишних уређаја

Наводњавање на заливном систему, како је речено у мастер раду, предвиђено је са четири центар пивота. Технички подаци кишних уређаја дати су у техничкој спецификацији уређаја у овом поглављу. Ови подаци преузети су од произвођача и базирани су на теоретским прорачунима

Прорачун дистрибутивног цјевовда

Хидраулички прорачун укопаног цјевовода од бунара до прикључака на кишне уређаје урађен је помоћу једначине *Colebrook White*. Цјевоводи су пречника Ø160 мм, протицај се креће од 17.5 до 22 l/s а притисци у цјевима од 2.5 до 3.1 бара. Резултати

прорачуна приказани су табеларно, гдје су дати и сви хидраулички елементи.

9. ЗАКЉУЧАК

Системи наводњавања, конкретно примјењени у овом мастер раду представљају технолошко напредна рјешења која омогућавају ефикасно наводњавање пољопривредних површина.

Узимајући у обзир теоретске основе описане у овом раду, анализом свих фактора потребних за одређивање оптималне количине воде за наводњавање као и за правилан избор и димензионисање система за наводњавање, испројектован је систем који ће моћи да надокнади дефиците воде, те да обезбједи повећање обима пољопривредне производње.

10. ЛИТЕРАТУРА

[1] Срђан Колаковић, скрипта „Наводњавање“ са предмета „Хидротехничке мелиорације“

[2] Др Димитрије Авакумовић „Хидротехничке мелиорације наводњавање“. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду

[3] Димитрије Авакумовић. „Хидротехничке мелиорације Одводњавање“. Грађевинска књига

[4] Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу. Презентације, Хидротехнички објекти и системи, Хидротехничке мелиорације

[5] Грађевински факултет свеучилишта у Ријеци. Друштво за одводњавање и наводњавање Хрватске-Загреб. Приручник за хидротехничке мелиорације II коло. Наводњавање. Књига 1.

Кратка биографија:

Тамара Љубоја рођена је у Мркоњић Граду 1995. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смјеру Грађевинарство – Хидротехника одбранила је у октобру, 2023. године.

контакт: ljubojatamara95@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 626/627
DOI: https://doi.org/10.24867/26CG11Sudzum

ИДЕЈНО РЈЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ ЗЕМЉИШТА ШЕЛЕВРЕНАЦ

CONCEPTUAL DESIGN OF IRRIGATION FOR AGRICULTURAL AREAS SELEVRENAC

Снежана Суџум, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – *У раду је приказана методологија пројектовања система за наводњавање пољопривредне површине од 320 ha у Шелевренцу, његова функционалност и примјена. Примјеном теоријских основа које прати хидротехничко рјешење, преко водног биланса земљишта, климатских услова, адекватне механизације, и на крају хидрауличког прорачуна, те графичких прилога дошло се до идејног рјешења којим је реализован овај рад.*

Кључне ријечи: *систем за наводњавање, центар пивот*

Abstract - *The paper presents the methodology of designing a system for irrigation of an agricultural area of 320 ha in Šelevrenac, its functionality and application. By applying the theoretical foundations that follow the hydrotechnical solution through the water balance of the soil, climatic conditions, adequate mechanization, and finally, the hydraulic calculation, as well as graphic attachments, we came to the conceptual solution by which this work was realized.*

Keywords: *irrigation systems, centre pivot*

1. УВОД

Хидротехничке мелиорације су скуп хидротехничких и агротехничких мјера, активности и грађевина којима се остварују оптимални услови за развој биљака [1].

Хидротехничке мелиорације имају за циљ да оптимизују коришћење воде, спријече штетне посљедице попут поплава или суше и повећавају продуктивност и одрживост околине.

Основна подјела хидротехничких мелиорација јесте на: наводњавање и одводњавање.

2. НАВОДЊАВАЊЕ

2.1. Увод

Наводњавање је агротехничка мјера, којом се тлу додају потребне количине воде како би се постигла оптимална влажност земљишта за одређену културу.

Развој наводњавања условљен је на територији Србије већим бројем чинилаца. Најважнији су земљиште и вода, два обновљива природна ресурса.

2.2. Погодност земљишта за наводњавање

Од обрадивих површина око 3,7 милиона ha је погодно за наводњавање. У погодним земљиштима за наводњавање налазе се сва земљишта класе I и класе II (IIа), као и земљишта класе III које траже дјелимичне (IIIа) или комплексне мелиорације (хидро, агро и хемијске – IIIб).

I и II класа погодности за наводњавање највише је заступљена на водном подручју "Дунав" са око 60% укупно исказаних површина (Бачка чак око 86%, Банат око 47%). На Водном подручју "Сава" прве двије класе учествују са око 48%, а на Водном подручју "Морава" I, II и IIа класа чине око 16%.

3. РЕЖИМ НАВОДЊАВАЊА

3.1. Потребне количине воде при наводњавању

У нашим климатским условима потреба за наводњавањем очитава се у врло израженом варирању приноса из године у годину, што је у директној зависности од количине и распореда падавина у вегетационом периоду. Из овога произилази да и поред повољних агротехничких услова за високу и стабилну пољопривредну производњу дефицит падавина представља ограничавајући фактор [2].

3.2. Расположиве воде у вегетационом периоду

Да би се успоставио водни биланс неког подручја потребно је прво одредити расположиве воде. Резерва воде у зони активног слоја у прорачинима се изједначава са лакоприступачном водом. У критичном периоду за наводњавање, ова резерва није више на располагању биљкама [3].

3.3. Прорачун потреба у води

Потребе у води се изражавају преко евапотранспирације, гдје је евапорација у односу на транспирацију израженија на почетку вегетационог периода. Евапотранспирација се одређује директно мјерењем или индиректно преко емпиријских релација [2].

3.4. Водни биланс вегетационог периода

Водни биланс вегетационог периода врши се ради утврђивања потреба у води као и њиховог распореда у анализираном периоду. Биланс се врши за један хид-

---

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Горан Јефтенић.

ролошки низ година за које имамо хидрометеоролошке податке (падавине, температуре, влажност ваздуха, нивое подземне воде, итд) и за који симулирамо прорачун потреба у води у случају одређене пољопривредне производње.

3.5. Оптимални интервал влажности и заливна норма

Врло често се у прећашњем периоду сугерисало да је доњи интервал оптималне влажности на нивоу лентокапиларне тачке, тј. прекида капиларног кретања воде. У новије вријеме, радом на експерименталним пољима дошло се до резултата који указују да овај доњи интервал оптималне влажности зависи и од културе. Доњи интервал оптималне влажности се најчешће везује за проценат од пољског водног капацитета.

Потреба за одређивањем доње границе оптималне влажности (W) настала је из чињенице да је сила којом је вода везана за земљиште све већа што је оно сувље, па ће биљка стога трошити више енергије за апсорбовање воде.

3.6. Заливни режим, одређивање времена заливања

Заливни режим један је од основних проблема који се јављају на терену, тј. у практичној примјени наводњавања. Наиме, потребно је одредити почетак наводњавања.

Полазећи од елемената који служе код одређивања времена заливања, методе за његово одређивање могу се подијелити у 3 групе:

- Земљиште – према влажности земљишта
- Биљка – према критичном периоду за воду у фази развоја, као и према спољашњим и унутрашњим промјенама на биљкама
- Евапотранспирација – према обрачуну свакодневног утрошка воде и према одређеним турнусима

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ЗАЛИВНОГ СИСТЕМА

4.1. Хидромодул наводњавања

Потребна способност опреме да надокнади дефиците у води при наводњавању дефинише се хидромодулом наводњавања. Хидромодул се изражава преко потребне количине воде у јединици времена по једном хектару (l/s/ha). Разликује се просјечан хидромодул у вегетационом периоду који је једнак [3]:

$$q = \frac{\sum m}{T_n} \qquad (1)$$

4.2. Турнус наводњавања

Представља вријеме између два наводњавања, тј. вријеме за које ће уређај за наводњавање поново да се врати у почетни положај и започне нови циклус.

У условима умјерене климе на нашим подручјима турнуси се крећу 8-10 дана. Међутим, због појаве краћих топлотних удара гдје дневна потрошња може да буде преко 5mm/дан, стање влажности тла треба провјеравати на сваких 5-6 дана.

5. ЕЛЕМЕНТИ ЗАЛИВНОГ СИСТЕМА

5.1. Захват воде

Захват потребних количина воде може се вршити у зависности од конкретних услова и то из:

- природних и вјештачких водотока,
- језера и акумулација,
- захватом подземних вода и
- коришћењем отпадних вода (све актуелније).

5.1. Дистрибуциона мрежа

Воду која је захваћена на неки од изложених начина треба дистрибуирати на заливна поља, тј. до уређаја за кишење. Врло често заливна поља нису у близини извора захваћене воде, тако да се мора предвидјети дистрибуциона мрежа. Овај елемент заливног система врло често представља и његов главни елемент.

6. ТЕХНИКЕ НАВОДЊАВАЊА

Постоје различите технике наводњавања [4]:

- Површинско наводњавање
- Наводњавање вјештачком кишом
- Локализовано наводњавање, односно систем „кап по кап“
- Подземно наводњавање

У раду је изабрано наводњавање вјештачком кишом. Уређај за кишење који је усвојен у овом раду је центар пивот. На предметним парцелама за наводњавање је предвиђено пет центар пивот машина. Распоред и дужине машина су диктирали топографија терена, облик и величина парцела као и атарски путеви унутар граница система. Центар пивоти су најстабилнији уређаји за чије руковање је потребно најмање радне снаге и енергије, као и најмање улагања по хектару.

7. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

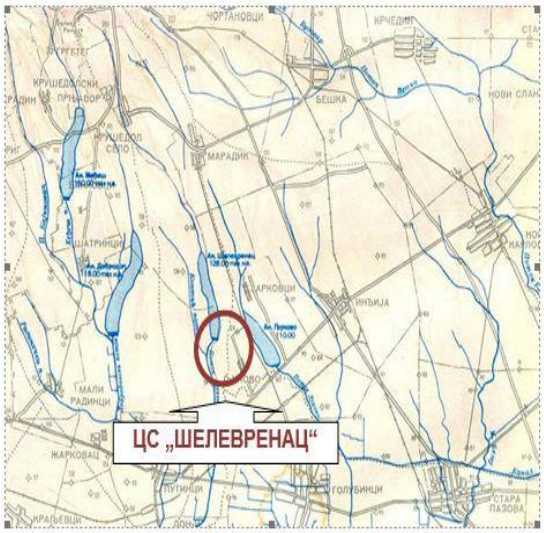
7.1. Увод

Цјелокупна површина система је обрадива и на њој се гаје претежно ратарске културе. Рељеф предметних површина за наводњавање је немиран са глобалним падом од сјевера ка југу и од истока ка западу.

Површину система чине табле правилног геометријског облика које раздвајају само општински земљани путеви. Из тог разлога предметна површина је третирана као обрадиви комплекс под заливним системом. Укупна површина система је 320ha.

Заливни систем „Шелевренац“ налази се у К.О. Љуково, сјеверозападно од насеља Љуково, западно од Јарковачког језера, источно од потока Шелевренац. Са сјеверне стране граница система је паралелна са асфалтним путем који води до акумулације Шелевренац, а који је удаљен око 700 м од наводњаване површине, слика 1.

У висинском погледу систем се налази између кота 135,0mnm на сјеверу и 105,0mnm на јужном крају система.



Слика 1. *Прегледна ситуација*

Слика 2. *Прегледна ситуација заливног система „Шелевренац“*

Укупна површина система је 320ха. Због топографије терена, облика парцела и укрштања са атарским путевима, према одабраном решењу, могуће је наводњавати 75% површина савременом опремом за наводњавање односно 240ha, слика 2.

7.2. Хидротехничко рјешење

Површина планираног система за наводњавање са аспекта врсте и положаја опреме за наводњавање, као и локације водозахвата студијом случаја разматрана је у више варијанти.

Урађен је водни биланс земљишта и одређен је максимални мјесечни дефицит воде.

Изворište воде за наводњавање је акумулација „Шелевренац“. Водозахват будућег заливног система је предвиђен на темељном испусту акумулације. Предвиђена је изградња црпне станице шахтног типа.

Дистрибутивни цјевовод заливног система се прикључује на потисни цјевовод из црпне станице на граници двије катастарске општине и допрема воду до сваке машине.

Унутар површине заливног система постоје општински атарски земљани путеви, који су локалног карактера и служе за комуникацију између пољопривредних парцела.

7.3. Дистрибутивни цјевовод

Дистрибутивни цјевовод за напајање центар пивота је од полиетиленских цијеви ПЕ-100 за притисак до 6 бара. Код одређивања диспозиције цјевовода водило се рачуна о стварању погодних парцела за механизовану обраду земљишта као и о захтјевима уређаја за наводњавање. Дистрибутиви цјевовод за напајање центар пивота се прикључује на потисни цјевовод који излази из црпне станице.

За сваки центар пивот се са дистрибутивног цјевовода одвајају огранци пречника Ø200 и Ø160mm.

Укупна дужина цјевовода је 6218m.

8. ВОДНИ БИЛАНС ЗЕМЉИШТА

8.1. Анализа основних климатских елемената који улазе у прорачун водног биланса земљишта

Основни климатски елеменати који су потребни за израчунавање водног биланса земљишта су средње мјесечне температуре ваздуха и мјесечне суме падавина.

Падавине представљају један од основних чинилаца раста и развића биљака, јер су основни снабдјевач земљишта водом. Недостатак влаге у вегетационом периоду узрокује ниске приносе и производне губитке који се надокнађују наводњавањем.

8.2. Прорачун потенцијалне евапотранспирације

Евапотранспирација представља ону количину воде која се троши процесима транспирације и евапорације са одређене површине у одређеном времену, и она може бити стварна или реална (SET) и потенцијална (PET).

У природним условима, биљке троше воду од падавина у периоду вегетације, од предвегетационих резерви влаге из земљишта, од подземне воде и дотока воде са стране. Количине воде су често ограничене, стога биљке не могу да задовоље све своје потребе за водом. Управо оваква потрошња воде представља стварну или реалну евапотранспирацију (SET), када биљке троше само онолико воде колико им је доступно.

Прорачун потенцијалне евапотранспирације је урађен методом Thorntwaite-a, који је добро прилагођен за умјерене климатске услове какви су у Војводини.
За потребе пројектовања и изградње система за наводњавање користе се падавине са најближе метеоролошке станице за минимум 20-25 година.
Најсушнија хидролошка година је година са минималном годишњом и вегетационом сумом падавина и са максималном сумом РЕТ у вегетационом периоду.
Анализа водног биланса је показала да се у зимском периоду одвија акумулисање воде у земљишту, а у љетњем периоду пражњење. Односно резерве воде акумулиране током зиме почињу да се троше већ у мају, да би се до октобра потпуно утрошиле. Тада се јавља мањак воде у билансу који траје зависно од падавина и потенцијалне евапотранспирације најчешће до новембра. У новембру почињу да се попуњавају резерве приступачне воде у земљишту.

8.4. Хидромодул заливања

Хидромодул заливања је срачунат тако да може бити надокнађен мјесечни дефицит влаге од 132 mm. Рачунато је за мјесец август, јер она има већи дефицит од мјесеца јула.

$$q = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{T}} = \frac{130 * 10 * 1000}{29 * 22 * 3600} = 0{,}57 = 0{,}6\ l/s$$

Изразито сушне године ће се у критичним мјесецима (јул и август) наводњавати 24h дневно, (по два сата дневно су предвиђена за поправке и техничко-технолошки застој), 29 дана у мјесецу, а у осталим, мање сушним годинама, дневно радно вријеме ће бити одређено према утврђеном дефициту влаге. За предвиђено рјешење, коришћен је хидромодул машина и износи q=0,60 l/s/ha.

Прорачун кишних уређаја

Наводњавање на заливном систему предвиђено је са пет центар пивота. Треба имати у виду да је за вријеме експлоатације могуће одступање од техничке спецификације уређаја, у зависности од различитих фактора (губици на трење, проклизавање точкова, стандардне толеранције, испаравање и слично.

Прорачун дистрибутивног цјевовда

Хидраулички прорачун укопаног цјевовода од црпне станице до прикључка на кишне уређаје урађен је помоћу горње једначине. Прорачун је извршен за максимално оптерећење система, при раду свих пет уређаја за заливање. При прорачуну је поштован услов да се брзина воде у цјевовду креће око 1-1,5 m/s и да нема изражених скокова брзине.

9. ЗАКЉУЧАК

У овом раду, обављена је комплексна анализа потреба и могућности за унапрјеђење система наводњавања на пољопривредном земљишту у подручју Шелевренац. Посебна пажња посвећена је различитим факторима који се односе на ефикасност и одрживост система наводњавања, гдје су посебно анализирани географски и климатски услови, као водни ресурси који су на располагању.

Анализиране су различите технике наводњавања, укључујући кап по кап системе, површинско наводњавање, подземно наводњавање, као и наводњавање вјештачком кишом. Сагледане су потенцијалне машине, те усвојен центар пивот.

Овај рад представља значајан корак ка унапрјеђењу пољопривредне производње на подручју Шелевренца. Идејно рјешење за систем наводњавања и избор централног пивот система омогућују побољшање производње, ефикасну употребу водних ресурса и борбу са климатским изазовима.

Свако даље истраживање и рад у овој области требало би да буде базирано на побољшању самих техника наводњавања, како би се остварило рјешење које ће смањити негативне ефекте и недостатке досадашњих техника.

10. ЛИТЕРАТУРА

[1] Срђан Колаковић, скрипта „Наводњавање“ са предмета „Хидротехничке мелиорације“

[2] Др Димитрије Авакумовић „Хидротехничке мелиорације наводњавање“. Београд: Грађевински факултет Универзитета у Београду

[3] Димитрије Авакумовић. „Хидротехничке мелиорације Одводњавање“. Грађевинска књига

[4] Грађевински факултет Свеучилишта у Ријеци. Друштво за одводњавање и наводњавање Хрватске-Загреб. Приручник за хидротехничке мелиорације II коло. Наводњавање. Књига 1. Опћи дио

Кратка биографија:

Снежана Суџум рођена је у Требињу 1997. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смјеру Грађевинарство – Хидротехника одбранила је у октобру, 2023. године.

контакт:
sudzum.snezana97@gmail.com

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 656.12.121
DOI: https://doi.org/10.24867/26DS01Cuturic

КУЛТУРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

TRAFFIC SAFETY CULTURE

Дарко Чутурић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – САОБРАЋАЈ

Кратак садржај – *Култура безбедности саобраћаја је релативно нов концепт који у последње време добија пажњу у области безбедности саобраћаја. Култура безбедности саобраћаја чини се као интуитиван и моћан концепт којим се објашњавају посматране разлике у међународним, регионалним и демографским ризицима од незгода, као и склоност ка високоризичном понашању.*

Кључне речи: *Безбедност саобраћаја, концепт, структура.*

Abstract – *Traffic safety culture is a relatively new concept which has recently gained attention in the field of traffic safety. Traffic safety culture appears to be an intuitive and powerful concept with which to explain observed differences in international, regional, and demographic crash risk, as well as the propensity to commit high risk behaviors.*

Keywords: *Traffic safety,concept, structure.*

1. УВОД

Саобраћајне незгоде представљају најчешћи узрок смрти од ненамерних повреда, чинећи 41% од свих смртних случајева узрокованих повредама (WHO, 2020).

Традиционалне стратегије за смањење погинулих у саобраћају фокусиране су на ризична понашања и њихове последице применом саобраћајног образовања, саобраћајне принуде и техничких решења. Историјски гледано, ове стратегије су имале успеха у смањењу броја погинулих. Међутим, ове стратегије упућују на подскуп фактора који утичу на најтеже последице саобраћајних незгода. Успоравање стопе побољшања безбедности саобраћаја може се приписати утицају ефеката опасности од незгода, чијим факторима се тренутно не баве традиционалне интервенције безбедности саобраћаја.

У раду је анализиран концепт, природа и структура културе безбедности саобраћаја. Култура безбедности саобраћаја чини се као интуитиван и моћан концепт којим се објашњавају посматране разлике у међународним, регионалним и демографским ризицима од незгода, као и склоност ка високоризичном понашању.

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Јовановић, ред. проф.

2. КУЛТУРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

2.1 Појам

Постојећа употреба појма „култура безбедности саобраћаја“ је двосмислена и колоквијална. Вероватно да је недостатак специфичности и стандардизације довео до претерано уопштене употребе овог термина. Међутим, ако прихватимо да постоји довољно доказа да ендогене промењиве као што је култура безбедности саобраћаја могу значајно утицати на ризична понашања и резултате стопе незгода, од друштва и појединца се захтева да обезбеде конструктивну дефиницију која се може применити за развој ефикасне интервенције у безбедности саобраћају. Научници разних дисциплина упозоравају на већу пажњу да се у културу угради здравље и безбедно понашање (Ward et al., 2010). White paper on traffic safety culture. White Paper, 2.. Важећа дефиниција културе безбедности саобраћаја треба да одреди елементе који утичу на ризично понашање и границе у оквиру којих треба радити. Такву дефиницију је неопходно подржати стандардним, релевантним и посебним осврtом на овај концепт.

2.2 Елементи

Основни елементи концепта културе безбедности саобраћаја су понашање, артифакт и спознаја. Понашања се односе на радње које представљају пример културе као што су ритуално и церемонијално понашање, или и радње предузете да би се квалификовало за чланство у групи или представљало чланство у групи. Артефакти су симболи, изрази и алати културе, укључујући правне норме који диктирају културну усклађеност. Спознаја је важан аспект културе који води и мотивише понашања заснована на култури. Аспекти спознаје унутар културе укључују (1) врлине које се вреднују у друштву; (2) уверења о томе која понашања су системски вредносна у друштву; (3) очекивања за кршење нормативног понашања; (4) ставови о понашањима (исходима); и (5) колективни утицај когнитивних фактора на процес доношења одлука појединца.

Ова сазнања за узврат диктирају и мотивишу понашање, које је намерни одраз културе. На пример, уграђено структурно веровање у преовлађујућу културу има значајан утицај на процес доношења одлука возача код којих постоји ризично понашање и који прихватају интервенције у циљу повећања безбедности саобраћаја. Конкретно, ставови према том понашању могу бити повезани са високо

корисним и ниско трошковним одлукама које подржавају такво понашање.

2.3 Оквири примене концепта

Постоје бар два оквира која се разликују у погледу примене концепта културе безбедности у саобраћају. Прво, култура не обухвата сва понашања. Културна сазнања утичу само на понашања која захтевају разматрање и планирање. Она понашања која диктирају спољни фактори (ритуални), која су подсвесно контролисана (уобичајено), или која су реакција на неке спољне догађаје нису предмет процеса доношења одлука под утицајем свесних елемената културе.

Друго, култура безбедности саобраћају настаје и делује на различитим нивоима у друштву (Cooper, 2000). У ствари, оперативне дефиниције културе безбедности које су до сада дате биле су превише уске, фокусиране на индивидуалним ставовима и схватањима безбедности на рачун холистичке, вишеструке природе концепта културе безбедности. Шира дефиниција културе безбедности укључује вредности, веровања и схватања организације, заједнице и друштва, а не само појединаца. Да би разумели вишеструке нивое друштва и његовог утицаја на појаву и рад културе безбедности саобраћаја, неопходно је да препознамо „друштвено-еколошку перспективу“ друштва.

2.4 Функција

Култура и њен утицај функционишу на више нивоа. Не треба само да препознамо ставове и уверења појединаца, већ и норме које дели заједница. Важније, није довољно само се фокусирати на возаче код културе безбедности у саобраћају. Такође је потребно размотрити културу оних субјеката које предлажу и подстичу политику безбедности саобраћаја, која може имати утицај на возаче; културу владе која издваја средства за разне саобраћајне иницијативе које могу омести или подстицати ризик; културу заједнице која охрабрује или обесзхрабрује ризично понашање; и културу друштва које подржава или осуђује ризичну вожњу.

Много тога је написано о потреби одговорности за друштвене проблеме посматрајући друштва из друштвено-еколошких перспектива. Обимно истраживање подржава коришћење друштвено-еколошких оквира за разумевање ризичног понашања, као што је адолесцентска употреба супстанци у којој карактеристике појединца, као и породице, вршњака и заједнице утичу на вероватноћу таквог уплитања.

Такву перспективу предложио је Амерички центар за контролу и превенцију болести у свом приступу насиљу (WISQARS (2010). Овај модел разматра узајамно дејство односа између појединца, заједнице и друштвених фактора. Он омогућава да обратимо пажњу на факторе који стављају људе пред ризик те они доживљавају или се ризично понашају, укључујући и ризичну вожњу.

Према овом моделу, стратегије безбедности које се ослањају на културу требало би да садрже континуитет активности које се односе на више нивоа:

1) „Индивидуални“ ниво фактора укључује биолошку и личну историју фактора који повећавају вероватноћу доприноса културе небезбедне вожње. Неки од ових фактора су старост, образовање, приходи и слично.
2) „Однос“ или „организациони“ ниво фактора укључују оне који повећавају ризик због односа са вршњацима, сарадницима, супервизорима и члановима породице. Најближи друштвени круг који окружује особу, као на пример вршњаци и колеге, утичу на њихово понашање и доприносе њиховој strukturi искустава.
3) „Заједница“ је ниво фактора који укључују подешавања, као што су школе, радна места и насеља, у којима се јављају друштвени односи који траже да се идентификују карактеристике ових подешавања које су повезане са сиромашном културом безбедности.
4) „Друштвени“ ниво фактора помаже стварању климе у којој се ризик обесхрабрује или забрањује. Ови фактори садрже друштвене и културне норме. Други велики друштвени фактори су здравље, економија, образовање и социјална политика који помажу да се сачува економска и друштвена неједнакост између група у друштву које могу допринети ризику.

3. ПАРАДИГМА КУЛТУРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Култура безбедности у саобраћају делује као интуитиван и снажан концепт помоћу којег објашњавамо разлике између интернационалних, регионалних и демографских ризика од незгода. Ако је могуће дефинисати и применити овај концепт у оквиру релевантних друштвено психолошких теорија избора понашања, могуће је развити нову парадигму интервенција у безбедности у саобраћају. Приступ заснован на култури је комплементаран, али фундаментално различит по форми и филозофији од традиционалних интервенција у култури безбедности у саобраћају укључујући образовање, инжењеринг и принуду. Ова разлика може бити сажета у односу на циљеве и методе који се користе за промену понашања возача.

Образовне интервенције могу попримити многе форме. Традиционално образовање подразумева одговоре и сагледава недостатке у знању и вештинама неопходне за обављање задатка. Ови програми су креирани да пренесу знања и увежбане вештине које се сматрају неопходним за постизање циљева задатка. У случају програма образовања возача, овај приступ би укључивао учење почетника о саобраћајним прописима и обуку да стекну контролу над возилом и вештине опажања опасности. За разлику од инжењерске стратегије и стратегије присиле које се фокусирају на контролисању, заштити или одвраћању, традиционални образовни програми су креирани да пруже вештине и знања неопходна за подршку новим понашањима. Међутим, као и са принудом и инжењерингом, нови облик образовања не мора да пружа подстицај за подржавање тих нових понашања. Иако је образовање неопходно за стицање информација о безбедности и вештина за усвајање

нових понашања у безбедности, оно само по себи не мора мотивисати сигуран избор. Насупрот томе, трансформативно образовање истиче културне ставове, вредности и уверења околине као скуп понашања, као што су праксе које су повезане са вожњом и покушава да мотивише измене мењањем културе.

Традиционалне инжењерске (област пројектовања путева и конструкције возила) интервенције подразумевају пројектовање инфраструктурних решења која или обезбеђују такве карактеристике у окружењу које контролишу понашање (нпр. Вертикалне препреке) или физичке баријере које штите возаче од ризичног понашања. Укључивање потписивања нуди метод идентификације ризика и упутство за понашање. Инжењерска решења такође могу да укључе интелигентне транспортне системе који пружају информације возачима о високоризичном понашању (нпр. Контрола и управљање брзинама у возилу) или прилагођавање возила бољој контроли од возача (нпр. електронска контрола стабилности). Заједничко за све ове инжењерске интервенције је фокус на понашање као на нешто што треба контролисати или прилагођавати без обзира на подстицај за такво понашање. У ствари, инжењерска решења третирају понашање као ризичан симптом без обраћивања патогена који се налазе у основи.

Традиционалне интервенције принуде користе прописе да доделе замену за ризик (нпр. новчана казна, кривично гоњење и затвор) у вези са циљним понашањем. Када је принуда ефективна, возачи ће одабрати да промене своје ризично понашање да би избегли спровођење законских мера, а не због промене ставова у сопственом понашању. Сходно томе, принуда не утиче директно на ставове возача о ризичном понашању. Дакле, принуду не би требало посматрати као директну интервенцију која утиче на културу безбедности саобраћаја. Међутим, стратегија примене принуде може имати индиректан утицај на културу безбедности саобраћаја, ако резултати одвраћања имају видљиве резултате у промени понашања који се доживљавају као нормативни. Процес доношења и поштовања нових норми понашања може ревидирати ставове о понашању и учврстити свој континуитет. Међутим, слично инжењерској стратегији, принуда се фокусира на понашање, а не фокусира се на оно што изазива такво понашање. Уместо тога, препреке су саме по себи форма која је уведена ради спровођења стратегије принуде, како би се прикрио претходни подстицај за циљано понашање.

4. ТРАНСФОРМАЦИЈА КУЛТУРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Претходне дискусије пружају убедљиве доказе да је култура безбедности у саобраћаја ендогена варијабла која може имати значајан утицај на безбедност у оквиру саобраћајног система. Заиста, култура безбедности у саобраћају може бити прихватљив фактор који утиче на стопу саобраћајних незгода јер је нераздвојив у друштвеном контексту вожње и уграђен у процес понашања при доношењу одлука, који могу променити преовлађујућу вредност културе безбедности саобраћаја, мотивисати безбедно понашање и прихватити политику безбедности. Међутим, било који краткорочни поглед на „коришћење културе“ као „стратегије“ за брзу промену понашања је кратковида. Уместо тога, стратегије за промену културе мора препознати да је култура везана за основне претпоставке које морају бити трансформисане. Усвојене културне вредности су дубоко усађене и не могу бити побољшане само помоћу искуства и информација.

Измена јавне дебате, која садржи централна питања о безбедности саобраћаја за трансформацију културе и такав помак настаје кроз дискусију и дијалог који имају важну улогу у трансформацији.

Предавање је дефинисано као дијалог који укључује оцену уверења, осећања и вредности. Предавање има критички осврт јер је људима потребна помоћ других да изађу из оквира тумачења са своје тачке гледишта.

Предавање подразумева суочавање и прекрајање претпоставки појединца о безбедности саобраћаја и преовлађујуће културе. Људи имају проблема са визијом како „изградити“ свет у коме живе. Али како Меријам и Кафарела (Merriam, S.B. & Caffarella, 1991) истичу, стварност је друштвено контруисана и може мењати друштво. Чланови друштва су учесници и посматрачи који су обликовани према својим окружењима и друштвеном контексту. али такође делују унутар њега и трансформишу га. Дакле, у циљу изградње безбеднije саобраћајне културе, биће потребно да друштвени и политички лидери покрену процес јавне дискусије и трансформације учења која се креће ван индивидуално заснованим на промену стратегије понашања ангажованих на макро нивоу и да се крећу изван једноставног трансфера знања и подстичу учење које ангажује слушаоце да изграде нове ставове, веровања и вредности.

Крајњи исход овог типа учења је свест о „претпоставкама културног регулисања правилима, улогама, конвенцијама и друштвеним очекивањима који диктирају начин на који видимо, размишљамо, осећамо и делујемо“. Овај процес може да укаже на правила, улоге и конвенције које тренутно доприносе ризику у саобраћају. То подразумева озбиљан рад који се активира краоз неку врсту „дезоријентације дилема“ која покреће циклус рефлексије „одређене претпоставке о себи и другима све док структура претпоставки постаје трансформисана“.

Велики изазов ће бити укључивање великог броја грађана у остваривање позитивне културе безбедности у саобраћају. Права културна трансформација ће захтевати активно и доследно укључивање националних лидера, укључујући доносиоце одлука, славне личности и друге познате личности на националном нивоу. Програм образовања о безбедности у саобраћају треба да буде укључен у основне и средње школе, а активисти програма безбедности у саобраћају би требало да буду свуда а не само повремено у телевизијским спотовима и на билбордима.

Кључни лидери се често фокусирају на културу других (нпр. појединаца, јавности, итд.) без разумевања улоге коју они (сами) имају у одржавању хомеостазе садашњих ставова.

На пример, наставе ли са трошењем драгоцених средстава у сврхе принуде, лидери у безбедности у саобраћају могу напустити програм едукације.
Едукацијом која се већ слабо спроводи се покрива сувише мала област. Лидери у безбедности у саобраћају, као многи лидери и људи уопште, нису свесни својих културних погледа на свет и на који начин њихова лична модернизација утиче на политику безбедности у саобраћају.
Приликом постављања циљева, одређени принципи и вредности имају приоритет над другима. Запажено је да те вредности најчешће нису довољно испитане или се сматрају заједничким када су у питању и креатори политике и примаоци интервенције. Заправо, често постоје празнине између различитих нивоа континуума, где се један скуп вредности пласира у јавности, а сасвим други се примењује у пракси.

5. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Да би постигли значајан напредак ка „нула смрти“ у саобраћају, неопходно је да усвојимо културу безбедности саобраћаја у којој доносицои одлука и грађани неће прихватити саобраћајне незгоде са смртним исходом као цену мобилности.
Ако је могуће дефинисати и припремити овај концепт у оквиру релевантних друштвених, психолошких теорија избора понашања, могуће је развити нову парадигму за безбедносне интервенције у саобраћају. Заиста, постоје бројни примери ефикасности безбедносних интервенција у саобраћају исказаних кроз утицај културе на понашање у саобраћају.
Приступ базиран на култури је комплементаран, али фундаментално различит по форми и филозофији од традиционалних интервенција у безбедности у саобраћају укључујући образовање, инжењеринг и принуду. Третирањем порекла ризичног понашања, интервенције засноване на култури су проактивне и трансформационе у свом приступу.
Култура безбедности у саобраћају није повезана са специфичним типовима или факторима незгоде. Уместо тога, претпоставља се да култура има општи утицај на све претпоставке о ризичним понашањима. Сматра се да култура безбедности саобраћаја има неког утицаја на све типове и факторе незгода, који су изазвани одлуком возача. На пример, култура безбедности саобраћаја може имати улогу у свим незгодама изазваним због брзине где је избор брзине вожње резултат одлука возача.
Слично томе, култура безбедности саобраћаја има утицаја на одлуку о коришћењу сигурносних појасева за које је познато да смањују тежину повреда приликом незгоде.
Култура безбедности саобраћаја такође може предодредити факторе незгода повезане са психофизичким сметњама возача где је психофизичка сметња односно недостатак узрокован одлуком возача.
Такви свесно изазвани случајеви психофизичких сметњи подразумевају вожњу у алкохолисаном стању (возити након конзумирања алкохола), недостатак концентрације (телефонирати током вожње) и умор (возити упркос потреби за одмором).
Иако се специфична уштеда од примене парадигме културе безбедности саобраћаја не може тачно проценити, велика је вероватноћа да би такве интервенције могле имати значајан утицај на безбедност у саобраћају својим свеобухватним позитивним утицајем на већину фактора незгода повезаних са возачима и креаторима саобраћајног система.
Природа културе безбедности саобраћаја је таква да не само што би утицала на низ фактора незгода него би такође утицала и на прихватање других интервенција безбедности у саобраћају. У том случају, корист парадигме културе безбедности саобраћаја би се огледала у томе да створи средину корисну за друге постојеће и алтернативне облике интервенција безбедности у саобраћају.
У суштини, позитивна култура безбедности саобраћаја може бити у синергији са другим типовима интервенција и на тај начин допринети да сви облици интервенција буду ефектнији на основу ширег прихватања од стране возача.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Cooper, M. Dominic. "Towards a model of safety culture." Safety science 36, no. 2 (2000): 111-136.

[2] Edwards, J., Freeman, J., Soole, D., & Watson, B. (2014). A framework for conceptualising traffic safety culture. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 26, 293-302.

[3] Merriam, S.B. & Caffarella, R.S. (1991). Learning in adulthood. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

[4] World Health Organization (2020). World report on road traffic injury prevention. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

[5] Ward, N. J., Linkenbach, J., Keller, S. N., & Otto, J. (2010). White paper on traffic safety culture. White Paper, 2.

[5] WISQARS (2010). Office of Statistics and Programming, National Center for Injury Prevention and Control, Centers for Disease Control and Prevention.

Кратка биографија:

Дарко Чутурић рођен је у Зворнику. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Безбедност саобраћаја одбранио је 2023. год.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 656.12.121
DOI: https://doi.org/10.24867/26DS02Lukic

АНАЛИЗА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ПРОЦЕСУ РАЗВОЈА ПРОЈЕКТА

ANALYSIS OF TRAFFIC SAFETY IN THE PROJECT DEVELOPMENT PROCESS

Марина Лукић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – САОБРАЋАЈ

Кратак садржај – *Анализа безбедности на путевима је важан део у пројектовању путева. Основни циљ јесте избор ефикасних решења безбедности саобраћаја међу више алтернатива пројекта пута.*

Кључне речи: *Безбедност саобраћаја, Пут, Пројекат.*

Abstract – *Road safety analysis is an important part of road design. The main goal is the selection of effective traffic safety solutions among several road project alternatives.*

Keywords: *Traffic safety, Road, Design.*

1. УВОД

Последњих година регистровано је укупно смањење саобраћајних незгода и смртних случајева широм света, али саобраћајне незгоде и даље представљају велику бригу човечанства. Према најновијим статистикама, већина држава била је далеко од постизања циља Деценије акције у безбедности саобраћаја, 2011-2020., смањења броја смтних случајева (за 50,0 %) и тешких повреда, иако је било доста простора за побољшање [4]. Да би се суочили са овим изазовом развијени су иновативни алати, како би се побољшао квалитет управљања безбедношћу на путевима.

Метод предвиђања користи се за процену предвиђене просечне учесталости саобраћајних незгода за део пута или неку локацију (нпр. рРаскрсницу) користећи атрибуте пута и саобраћаја као улазне параметре. Предиктивне методе нуде научни и објективни приступ за предвиђање безбедности у пројектним алтернативама. Треба их користити за квантификацију утицаја на безбедност саобраћаја у процесу анализе алтернатива. На тај начин омогућавају практичарима одговарајућим субјектима да доносе рационалне инжењерске одлуке у погледу безбедности свих учесника у саобраћају.

Од великог је значаја да се развију алтернативе за побољшање са јасним разумевањем безбедносног питања које треба решити и проценити. Те алтернативе треба да узму у обзир и инжењерска и оперативна побољшања која доприносе безбедности.

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Драган Јовановић, ред. проф.

2. БЕЗБЕДНОСТ САОБРАЋАЈА КАО ДЕО РАЗВОЈА ПРОЈЕКТА

2.1 Уводне напомене

Да би донели одлуке о локацији и концепцији дизајна за транспортне саобраћајне пројекте, практичари стручњаци покушавају да одговарарају на разна питања. У вези са безбедношћу, нека од кључних питања су [1,2]:

- Да ли постоје локације са безбедносним недостацима (више од државних просека за сличне локације) у границама пројекта?
- Које су могућности за побољшање безбедности саобраћаја у границама пројекта?
- Како се предложене алтернативе упоређују једна са другом у погледу перформанси безбедности саобраћаја?
- Како се циљеви безбедности саобраћаја могу уравнотежити са осталим циљевима, попут екологије, економије и др. циљевима?

2.2 Ресурси анализе безбедности саобраћаја

Следећи алати и ресурси могу да подрже безбедносну анализу засновану на подацима током студија развоја пројекта и животне средине и стога аналитичар безбедности пројекта треба да буде свестан:

1. Приручник за безбедност на путевима, садржи синтезу валидираних истраживања на путевима, прецедуре за укључивање безбедности у одлуке о пројекту и аналитичке алате за предвиђање утицаја на безбедност на путевима.
2. Приручник о једнообразним саобраћајним студијама утврђује минималне стандарде за извођење саобраћајних инжењерских студија на путевима.
3. Интерактивни софтвер модела пројекта безбедности на путу подржава примену предиктивне методе.
4. Алат за анализу безбедности саобраћаја садржи упутство за употребу и табеле које користе предиктивну методу да подрже процену безбедносних перформанси за путеве и петље.

2.3 Обим анализе безбедности саобраћаја

Методологија безбедносне анализе за студију развоја пројекта и животне средине обично није написана у виду скале, па према томе често анализе зависе од:

- Одабране мере учинка за решавање сврхе и потребе,
- Типа пројекта,
- Локације пројекта, контекста и постојећих питања и

• Сложености или обима алтернатива које се процењују, слика 1.

Слика 1. *Процес утврђивања опсега анализе безбедности саобраћаја*

3. МЕТОДОЛОГИЈА АНАЛИЗЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Безбедносна анализа заснована на подацима (нпр. анализа историјских података о саобраћајним незгодама и примена метода) треба да се користи у мери у којој је то изводљиво за квантитативну процену безбедносних перформанси пројектних алтернатива. Ниво безбедносне анализе треба да буде обухваћен и скалиран према сложености пројекта и документовано у методологији анализе саобраћаја [3].

3.1 Сврха и потреба за пројектом

Сврха и потреба пројекта су од суштинског значаја за процену и одабир префериране алтернативе за разне студије. Укључивање безбедности у сврху и потребу пројекта укључује неколико разматрања, као што су:

• Преглед докумената за планирање безбедности саобраћаја да би се идентификовали пројекти или делови пројеката који су наведени у стратешком плану безбедности на путу или плану другог подручја одвијања саобраћаја. Пројекти фокусирани на безбедност саобраћаја (пројекти чија је безбедност идентификована као примарна сврха и потреба) треба директно да подрже специфичне стратегије. Студије треба да буду упућене на сваку спроведену безбедносну анализу, да би се утврдило да ли побољшања безбедности могу пружити користи у области пројекта (нпр. резултати мрежа који помажу идентификацији локација са већим бројем саобраћајних незгода).

• Процена безбедносних услова коришћењем историје саобраћајних незгода, посматрања на терену или ревизије безбедности на путевима (RSA). Да би се подржало успостављање сврхе и потребе за пројектом потребно је да се изврши анализа саобраћајних незгода, посматрања на терену и разматрања људског фактора, да би се идентификовала локација са потенцијалом за побољшање безбедности саобраћаја (постојећи или предложени услови). Такође, може да се утврди како предложени пројекат може променити учесталост или озбиљност саобраћајних незгода. Описна анализа уочених саобраћајних незгода и квалитативна анализа информација добијених са терена могу открити безбедносне услове у области пројекта.

• Израчунавање стопе незгода за сегменте или раскрснице у области пројекта, затим поређење просечних стопа незгода за сличне објекте у истом округу или у целој држави. Поступак поређења стварне посматране стопе са просечном стопом укључује претпоставку да посматрана стопа премашује просечну стопу.

• Помоћу примене алата за дијагностиковање безбедносних услова може се вршити информисање за равој и усавршавање сврхе и потребе пројекта. Уколико су доступне функције перформанси безбедности саобраћаја, могу се користити за одређивање да ли је уочена безбедност перформанси на датој локацији већа или мања од просечних безбедносних перформанси друге локације са сличним карактеристикама пута. Локације са вишим од посечнх безбедносних перформанси могу имати најмећу безбедносну потребу или велики потенцијал за побољшање безбедности.

• Примена људских фактора приликом оцењивања постојећих безбедносних перформанси пројекта, идентификовањем могућих проблема са људским фактором који могу дати допринос настанку саобраћајних незгода. Од великог значаја су безбедносна питања за све видове саобраћаја, као и све учеснике у саобраћају (посебно рањиве учеснике као шо су старије особе, деца, инвалиди, пешаци и бициклисти).

3.2 Развој и вредновање алтернатива

Процењене безбедносне перформансе треба да буду укључене у развој и евалуацију свих пројеката. Методе предвиђања или друге методе треба користити за квантификацију утицаја на безбедност саобраћаја у процесу анализе алтернатива. Безбедност је један од фактора који треба узети у обзир у процесу развоја пројекта. Процењени утицаји на безбедност саобраћаја, заједно са другим факторима као што су оперативна ефикасност, исплативост и утицаји на животну средину, могу се користити у вишекритеријумској евалуацији за одабир жељене алтернативе. За пројекте у којима је безбедност примарна сврха и потреба, требало би да се развију алтернативе за побољшање са јасним разумевањем безбедносног питања које треба решити и проценити да би се утврдило да ли је алтернатива постигла жељени циљ побољшања безбедности. Предложене алтернативе треба да узму у обзир и инжењерска и оперативна побољшања која доприносе безбедности. Оперативна побољшања могу захтевати разматрање интегрисања стратегија управљања саобраћајним системима и операцијама, као дела избора противмера без утицаја на обим пројекта, распоред или цену пројекта. Приликом обављања безбедносне анализе треба узети у обзир следеће:

• Резултати безбедносних дијагностичких анализа могу се користити за развој концепта и алтернатива, а фактори модификације незгода се могу користити за процену промена у учесталости или озбиљности незгода.

- Предиктивне методе се могу користити за процену величине промена у учесталости или озбиљности незгода повезаних са променом обима саобраћаја, контроле саобраћаја или карактеристика пута.
- Ако безбедност није део сврхе и потребе пројекта, безбедносна анализа се може користити за идентификацију карактеристика пројекта са доказаним безбедносним предностима које се могу додати у алтернативама. РСА на нивоу концепта такође може допунити безбедносну анализу откривањем елемената пројекта о алтернативама које могу представљати безбедносну забринутост или могућност за ублажавање тих забринутости.

Додатне анализе саобраћаја или студије саобраћаја могу бити неопходне да би се допунила или подржала безбедносна анализа или евалуација потенцијалних контрамера у случају незгода на предложена побољшања. Ове анализе укључују, али нису ограничене на анализу капацитета, студије налога за сигнализацију и студије оправданости осветљења коловоза.
Људски фактор треба узети у обзир када се развијају алтернативе, тако што ће се бавити питањима људског фактора који су можда допринели постојећим безбедносним условима и повезаним противмерама.

3.3 Прикупљање података

Подаци су основа за анализу безбедносних перформанси постојећих услова и предложених побољшања, као и одређивање мера ублажавања за смањење потенцијалних саобраћајних незгода. Типови података за анализу безбедности су подаци о саобраћајним незгодама, о карактеристикама пута, обима саобраћаја и оперативним карактеристикама саобраћаја, слика 2.

Тип·података¤	Пример·информација·које·треба·размотрити·ради·укључивања·у·сврху·и·потребу¤
¶ ¶ Перформансе·безбедности·на·путу¤	·Поређење·стопе·незгода·са·просечном·стопом·у·целој·држави.¶ ¶ ·Поређење·стопе·незгода·са·очекиваним·незгодама.¶ ·Поређење·постојеће·и·очекиване·просечне·учесталости·незгода·за·будуће·услове.¤
Фактори·незгода·који·доприносе¤	Анализа·историје·незгода·како·би·се·указало·на·преовлађивање·одређених·типова·незгода·и·фактора·који·доприносе.¤
Мултимодална·безбедносна·питања¤	Безбедносна·питања·за·одређене·типове·учесника·у·саобраћају,·укључујући·пешаке,·бициклисте,·теретна·возила.¤
Заинтересоване·стране·или·јавни·допринос¤	Безбедносна·питања·која·је·поставила·јавност·као·забрињавајућа¤
Питање·ревизије·безбедности·на·путевима¤	Резултати·РСА·постојећих·услова·указују·на·било·какве·налазе·у·вези·са·недостацима·или·могућностима·за·побољшање·перформанси·безбедности.¤

Слика 2. *Подаци које треба укључити у сврху и потребу за пројектима*

Пошто су методе вођене подацима, обим ових типова података зависи од обима пројекта и метода анализе безбедности.
Тачност анализе безбедности зависи од доступности и квалитета основних података о саобраћајним незгодама и повезаних података о путу и саобраћају. Историјски подаци о саобраћајним незгодама могу бити непотпуни (нпр. недостатак потпуне евиденције саобраћајних незгода са материјалном штетом или незгода у руралним областима и локално одржаваним путевима).
Поред тога, базе података о саобраћајним незгодама могу садржати грешке кодирања и уноса података. Због тога би прикупљање података требало да укључи испитивање, како би се утврдила разумност историјских записа о саобраћајним незгодама.
Подаци о саобраћајним незгодама су од суштинског значаја и за анализу историје незгода и за анализу предвиђања. Темељна процена података о незгодама пружа основу за анализу безбедности и кључна је за идентификацију постојећих безбедносних проблема који су укључени за сврху и потребе пројекта.

Доступни подаци су неопходни како би се утврдило да ли пројекат:
- Утиче на раскрснице или сегменте пута које су идентификоване као приоритетне локације за побољшање безбедности;
- Укључује локације са забринутошћу за безбедност или потенцијалом за побољшање безбедности у области пројекта као што је идентификовано у претходно завршеним студијама планирања, студијама безбедности или од стране јавности;
- Утиче на локацију за коју се зна или се очекује да има потенцијал за побољшање безбедности, тј. локација са великим бројем саобраћајних незгода;
- Укључује пешаке, бициклисте, транзитна и друга возила која захтевају посебна разматрања у области пројекта;
- Укључује геометријске елементе који су фактори који доприносе саобраћајним незгодама и које је потребно дефинисати у пројекту;
- Укључује посебне карактеристике предложеног пројекта и његовог окружења које би могле имати импликације на безбедност.

3.4 Примена анализе безбедности саобраћаја

Област анализе безбедности саобраћаја треба да обухвати све елементе пута (одређене сегменте, раскрснице, петље) са физичким или оперативним променама које су резултат предложених побољшања. Од кључне важности је да границе студијског подручја буду исте за све алтернативе, како би се осигурала конзистентност и упоредивост резултата анализе. Методологија треба да идентификује све локације унутар области анализе. Област анализе безбедности саобраћаја ће обично бити иста као и област оперативне анализе саобраћаја, осим ако не постоји убедљив разлог да се подручје прошири или смањи. Такође треба да буду идентификовани и укључени у област анализе путеви на којима предложени пројекат значајно повећава или смањује обим саобраћаја. На пример, ако се очекује да ће пројекат проширења смањити саобраћај на паралелном путу, паралелни пут треба узети у обзир у анализи безбедности, јер велика промена у изложености може довести до промене у саобраћајним незгодама.
Године анализе безбедности саобраћаја треба да буду исте као и године анализе саобраћајних операција.

Ово је важно јер су обим саобраћаја и предложена побољшања улазни подаци за предиктивну безбедносну анализу и користе се за израчунавање стопе саобраћајних незгода. Типичне године анализе су: година пројектовања, текућа година и година "отварања". Током утврђивања опсега безбедносне анализе, важно је утврдити да ли су потребна годишња предвиђања саобраћајних незгода током много година (нпр. за анализу користи и трошкова).
Методе анализе постојеће и пројектоване године (Слика 3.) зависе од типа и контекста пројекта, сложености пројектованих алтернатива које се разматрају и података потребних метода. Потребна је добра координација између пројектног тима како се осигурало да су одабране одговарајуће методе анализе.

Слика 3. *Методе квантитативне анализе безбедности саобраћаја*

За анализу саобраћајних незгода, углавном се користе подаци за последњих пет година. Ако је краћи временски период студије, могуће је неслагање у подацима. Саобраћајне незгоде су углавном ретки и случајни догађаји, па краћи период може приказати неубичајено низак или висок број саобраћајних незгода. Када је период студије краћи од пет година, корисно је истаћи период проучавања, образложење и претпоставке за такав избор периода. У неким случајевима је потребно користити податке за више од пет година, нпр. уколико се ради детаљна анализа незгода пешака, бицикла и слично.
Анализе безбедности које користе методе предвиђања захтевају елементе пута и обим саобраћаја као улазне податке. Ови подаци треба да буду исти као и они који се користе за оперативну анализу саобраћаја.

4. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Предиктивне методе се темеље на прикупљању података у сврху идентификовања могуће опасности која би могла утицати на будуће одвијање саобраћаја. Подаци о саобраћајним незгодама су од суштинског значаја и за историјску анализу и за анализу предвиђања. Темељна процена података о незгодама пружила је основу за анализу безбедности и кључна је за идентификацију постојећих безбедносних проблема. Документација за анализу безбедности обухватала је ставке довољно детаљно да прикаже податке, методе анализе и резултате.
Примена предиктивних метода је означила помак са приступа безбедности у саобраћају, који се фокусира на локације на којима је дошло до саобраћајне незгоде са високом стопом тешких повреда и смртних случајева на онај који проактивно идентификује и третира локације са сличним карактеристикама високог ризика. Предиктивна анализа безбедности је пружила Монтгомерију чврсту основу за проактивно планирање безбедности. Такође, пружила је дубински увид у системска безбедносна питања, а додатна истраживања и анализе могу додатно послужити безбедносним циљевима. Ова анализа је омогућила округу да одреди где и како најефикасније инвестирати у побољшању безбедности.
За сваки тип саобраћајне незгоде, једна или више контрамера су идентификоване као стратегије за смањење одређеног типа саобраћајне незгоде. Путна инфраструктура има кључну улогу у безбедности на путевима и од суштинске је важности да се прате постојећи путеви, како би се осигурали високи стандарди безбедности за све учеснике. Врши се идентификација локација које у одређеном тренутку немају много уочених незгода, али имају потенцијал да постану локације са великим бројем незгода. Затим је извршен проналазак локације са сличним карактеристикама, јер оне имају велики ризик настанка саобраћајне незгоде.
Од велике је користи проценити много више локација и укључити много више података о колизији, како би се добила поузданија процена модела. Сажеци ризика настанка саобраћајне незгоде пружили су нови увид помоћу ког се сагледало где су безбедносни проблеми концентрисани и где безбедносна побољшања могу бити најкориснија.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] Bonera, M., & Maternini, G. (2020). Methodology for the application of predictive method for road safety analysis in urban areas. The case study of Brescia. Transportation research procedia, 45, 659-667.

[2] Florida DoT. (2019). Safety Analysis Guidebook for PD&E Studies

[3] Jesse Cohn McGowan, David Anspacher, and Jason Sartori. (2022). Predictive Safety Analysis Final Report

[4] World Health Organization (2020). World report on road traffic injury prevention. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

Кратка биографија:

Марина Лукић рођен је у Зворнику. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Безбедност саобраћаја одбранила је 2023. год.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 004.738.1:766
DOI: https://doi.org/10.24867/26EF01Babic

ANALIZA I KONTROLA KVALITETA REDUKCIJE ŠUMA NA DIGITALNIM FOTOGRAFIJAMA

ANALYSIS AND QUALITY CONTROL OF NOISE REDUCTION IN DIGITAL PHOTOGRAPHS

Tamara Babić, Ivana Jurič, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – *U radu je kroz teorijske osnove opisan šum, vrste šuma i postupci za njegovo uklanjanje, kao i kontrola kvaliteta fotografije. U praktičnom delu se vršila korekcija na primerima fotografija u JPG i RAW formatu i prikazani su rezultati istraživanja kontrole kvaliteta upotrebom SSIM metrike.*

Ključne reči: *Obrada digitalne fotografije, šum, SSIM metrika, veštačka inteligencija, MDS*

Abstract – *This paper describes noise, types of noise and procedures for its removal, as well as photo quality control through theoretical foundations. In the practical part, correction was made on examples of photographs in JPG and RAW format, and the results of quality control research using SSIM metrics were presented.*

Keywords: *Digital photo processing, noise, SSIM metrics, artificial intelligence, MDS*

1. UVOD

Šum je nusproizvod nepravilnih fluktuacija signala koje prate emitovani signal. Na fotografijama se može pojaviti nasumično raspoređen, u vidu fiksnog šablona ili linija [1]. Kada je reč o uklanjanju šuma na digitalnim fotografijama, najbitnije je znati da postoje dva tipa šuma, a to su šum svetline i šum u boji [2].

Kod digitalnih fotoaparata šum nastaje zbog izvora svetla i naziva se fotonski šum, zbog senzora kamere odnosno šum čitanja, zbog procesora i obrade signala i mnogih drugih faktora i podešavanja kamere prilikom snimanja [3]. Uklanjanje šuma na fotografiji je težak zadatak jer je šum vezan za visokofrekventni sadržaj, odnosno detalje. Najčešće se koriste pristupi zasnovani na različitim filterima za smanjenje šuma.

Smanjivanje šuma je neophodno obaviti pre izoštravanja, a za bolje efekte preporučuje se maskiranje ivica slike i smanjivanje šuma na svakom od kanala boje pre nego globalno [2]. Za kontrolu kvaliteta fotografije koriste se metrike kvaliteta slike (engl. Image Quality Metrics) koje su objektivne mere kvaliteta, ali se oslanjaju na ljudski vizulni sistem [4].

Indeks strukturne sličnosti (SSIM) je relativno novija metrika kvaliteta digitalne fotografije i tipičan predstavnik metrike višeg nivoa [5].

2. UKLANJANJE ŠUMA U SOFTVERIMA

Na slici 1. prikazana je originalna fotografija sa šumom nad kojom će biti primenjene obrade u izabranim softverima i biti prikazani rezultati.

Slika 1. *Prikaz originalne fotografije*

Na slici 2. prikazan je rezultat obrade fotografije u softveru *Adobe Photoshop 2021*. U ovom rezultatu nije primenjena mogućnost maskiranja ivica pa je dobijena fotografija izgubila originalne detalje i postala zamućena. U sledećem primeru će biti prikazana fotografija sa primenjenim maskiranjem.

Slika 2. *Prikaz rezultata obrade u softveru Adobe Photoshop 2021 - primer bez upotrebe maskiranja*

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Ivana Jurič, docent.

Na slici 3. prikazana je opcija maskiranja ivica u softveru *Adobe Photoshop 2021*. Uočljivo je čuvanje detalja na fotografiji pa je ona čistija u odnosu na primer bez upotrebe maskiranja.

Slika 3. *Prikaz rezultata obrade u softveru Adobe Photoshop 2021 - primer sa upotrebom maskiranja*

Na slici 4. prikazana je obrada fotografije u softveru *Noiseware*. Na rezultatu koji se dobija je uklonjena zadovoljavajuća količina šuma ali su detalji na fotografiji blago zamućeni.

Slika 4. *Prikaz rezultata obrade u softveru Noiseware*

Na slici 5. prikazana je redukcija šuma u softveru *Luminar Neo*. Na rezultatu se može primetiti adekvatna redukcija šuma i blago dodavanje zatamnjenja po ivicama fotografije.

Slika 5. *Prikaz rezultata obrade u softveru Luminar Neo*

Na slici 6. prikazan je rezultat uklanjanja šuma dobijen u softveru *Neat Image*. Softver pomoću veštačke inteligencije u zadovoljavajućoj meri čisti sliku od šuma.

Slika 6. *Prikaz rezultata obrade u softveru Neat Image*

Na slici 7. prikazan je rezultat redukcije u softveru *ON1 NoNoise AI*. Softver obrađuje šum u zadovoljavajućoj meri, ali se primećuje blaga distorzija u odnosu na originalnu fotografiju.

Slika 7. *Prikaz rezultata obrade u softveru ON1 NoNoise AI*

Na slici 8. dat je prikaz rezultata obrade u softveru *DxO PureRAW 3*. Odabirom željene fotografije za redukciju šuma dobija se čist i posvetljen rezultat.

Slika 8. *Prikaz rezultata obrade u softveru DxO PureRAW 3*

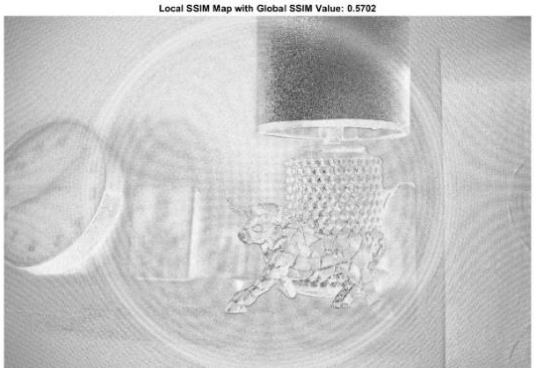
Na slici 9. dat je prikaz rezultata obrade u softveru *Adobe Lightroom 2023*. Budući da je primer fotografije u RAW

formatu, ona se obrađuje pomoću veštačke inteligencije filterom **Denoise** i rezultat je čista fotografija bez šuma.

Slika 9. *Prikaz rezultata obrade u softveru Adobe Lightroom 2023*

3. SSIM VREDNOSTI, MAPE I MDS ANALIZA

Pored dobijene vrednosti, kao rezultat dobija se SSIM mapa na osnovu koje može da se zaključi na kojim delovima fotografije su veće ili manje razlike. Na slici 10. prikazan je primer SSIM mape za poređenje originalne fotografije sa fotografijom obrađenom u softveru *Dxo PureRAW3* u *Matlab* softveru.



Slika *10. Primer SSIM mape*

Male SSIM vrednosti se pojavljuju kao tamni (crni) pikseli na lokalnoj SSIM mapi (slika 10.). Regioni sa malom lokalnom SSIM vrednošću odgovaraju oblastima u kojima se obrada fotografije primetno razlikuje od referentne slike.

Velike SSIM vrednosti se pojavljuju kao svetli (beli) pikseli. Regioni sa velikim lokalnim SSIM vrednostima odgovaraju uniformnim regionima referentne slike, gde obrada ima manji uticaj na fotografiju. Na prikazanom primeru upoređivanja originalne fotografije sa fotografijom obrađenom u softveru *Dxo PureRAW3*, uočava se da su prisutniji svetliji delovi na fotografiji u odnosu na tamnije delove pa je zato i SSIM vrednost odnosno razlika od referentne fotografije manja.

U tabeli 1. date su SSIM vrednosti kvaliteta redukcije šuma u softveru *Matlab*. Manje vrednosti u tabeli označavaju primetnu razliku uporedene fotografije sa referentnom (originalnom), dok veće vrednosti označavaju manje primetnu razliku uporedene fotografije. Vrednosti označene brojem 1 su identične fotografije poređene same sa sobom pa stoga nema razlike.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0,89	0,89	0,89	0,95	0,96	0,76	0,57	0,88
2	0,89	1	0,95	0,98	0,94	0,95	0,84	0,61	0,90
3	0,89	0,95	1	0,96	0,93	0,95	0,82	0,60	0,90
4	0,89	0,98	0,95	1	0,95	0,97	0,85	0,62	0,92
5	0,95	0,94	0,93	0,95	1	0,98	0,82	0,59	0,93
6	0,96	0,95	0,95	0,97	0,98	1	0,83	0,60	0,94
7	0,76	0,84	0,82	0,85	0,82	0,83	1	0,60	0,80
8	0,57	0,61	0,60	0,62	0,59	0,60	0,60	1	0,58
9	0,88	0,90	0,90	0,92	0,93	0,94	0,80	0,58	1

1 – fotografija bez obrade

2 – fotografija obrađena u softveru Adobe Photoshop bez upotrebe maske

3 – fotografija obrađena u softveru Adobe Photoshop sa upotrebom maske

4 – fotografija obrađena u softveru Noiseware

5 – fotografija obrađena u softveru Luminar Neo

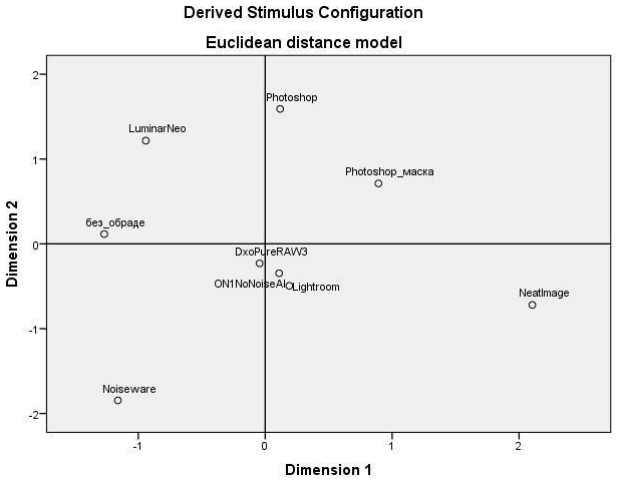
6 – fotografija obrađena u softveru Neat Image

7 – fotografija obrađena u softveru ON1 NoNoise AI

8 – fotografija obrađena u softveru Dxo PureRAW3

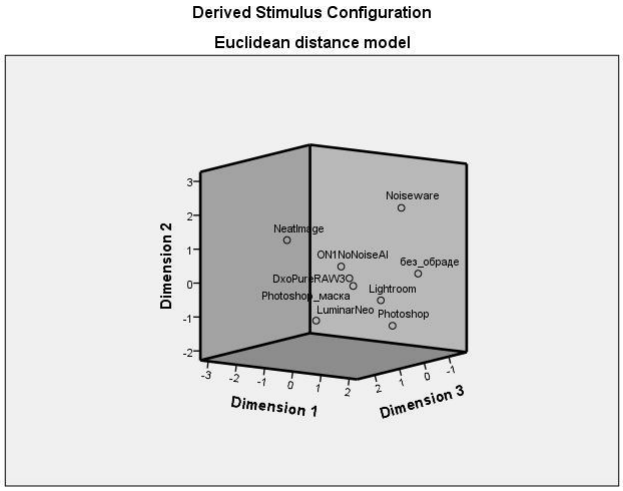
9 – fotografija obrađena u softveru Adobe Lightroom

MDS (Multidimenzionalno skaliranje) je jedna od nekoliko multivarijantnih tehnika koja ima za cilj da otkrije strukturu skupa podataka, određujući pozicije ajtema u malom broju dimenzija (najčešće u jednoj ili dve dimenzije). Na osnovu MDS analize dolazi se do zaključka da sa SSIM vrednošću dobijamo raspodelu po više dimenzija, a ne samo po jednoj očekivanoj. Uzorci su raspoređeni po x i y-osi od -2 do +2, tako da ne mogu da se aproksismiraju/rasporede samo u odnosu na jednu dimenziju, šum.



Slika 11. *Distribucija uzoraka u prostoru MDS grafikona za prvi primer*

Na slici 11. prikazan je rezultat MDS analize za prvi primer u 2D prostoru, dok je na slici 12. prikazan rezultat u 3D prostoru.



Slika 12. *Distribucija uzoraka u prostoru MDS grafikona za prvi primer, 3D prostor*

4. ZAKLJUČAK

Analizom i ispitivanjem mogućnosti softvera za redukovanje šuma *Adobe Photoshop 2021, Adobe Lightroom 2023, DxO PureRAW 3, Luminar Neo, Noiseware, Neat Image* i *ON1 NoNoise AI* u JPG i RAW formatu, dolazi se do sledećih zaključaka. Redukcija šuma pomoću veštačke inteligencije prevazišla je manuelne metode obrade digitalnih fotografija po kvalitetu i brzini.

Manuelno obrađivane fotografije dobijaju najčešće zamućeni izgled i neadekvatnu redukciju šuma, dok se kod fotografija obrađenih pomoću veštačke inteligencije uočavaju jasni i čisti rezultati obrade. Na osnovu MDS analize dolazi se do zaključka da sa SSIM vrednošću dobijamo raspodelu po više dimenzija, a ne samo po jednoj očekivanoj.

5. LITERATURA

[1] https://retouchingacademy.com/qualities-of-digital-images-understanding-image-noise/#:~:text=Three%20Types%20of%20Image%20Noise,pattern%20noise%2C%20and%20banding%20noise./ (pristupljeno u julu 2023)

[2] I. Karlović, I. Tomić i I. Rilovski, "Digitalna reprofotografija", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2012, str. 149-150.

[3] https://www.mathworks.com/help/images/noise-removal.html (pristupljeno u julu 2023)

[4] http://www.cns.nyu.edu/~lcv/ssim/ (pristupljeno u julu 2023)

[5] J. Phillips, H. Eliasson, "Camera Image Quality Benchmarking", John Wiley and Sons Ltd, 2018. pp. 253–260.

Kratka biografija:

Tamara Babić rođena je u Kikindi 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičkog inženjerstva i dizajna – Analiza i kontrola kvaliteta redukcije šuma na digitalnim fotografijama odbranila je 2023. god.

kontakt: babictamara2202@gmail.com

Doc. dr Ivana Jurič, rođena je u Kikindi 1987. godine. Doktorske studije je završila na Fakultetu tehničkih nauka 2018. god., a od iste godine je u zvanju docent. Oblast interesovanja je kontrola kvaliteta digitalne fotografije, digitalna štampa.

kontakt: rilovska@uns.ac.rs

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 655:54
DOI: https://doi.org/10.24867/26EF02Salma

EMISIJE INDIVIDUALNIH I UKUPNIH LAKOISPARLJIVIH ORGANSKIH JEDINJENJA IZ OFSET I TAMPON GRAFIČKIH BOJA

EMISSIONS OF INDIVIDUAL AND TOTAL VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS FROM OFFSET AND PAD PRINTING INKS

Andrea Salma, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – *Koncentracije individualnih i ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz grafičkih boja u vazduh učionice detektovane su u radu. Kvantitativna analiza lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja na bazi rastvarača sprovedena je primenom gasno hromatografske metode.*

Ključne reči: *Grafička boja, ofset i tampon štampa, lakoisparljiva organska jedinjenja, gasna hromatografija*

Abstract – *Concentrations of individual and total volatile organic compounds emitted from printing inks into classroom air were detected in the paper. Quantitative analysis of volatile organic compounds emitted from process offset and pad solvent-based printing inks was carried out using the gas chromatographic method.*

Keywords: *Printing ink, offset and pad printing process, volatile organic compounds, gas chromatography*

1. UVOD

Boje koje se koriste u grafičkoj industriji, odnosno u procesu štampe, mogu biti potencijalno veoma štetne po zdravlje zaposlenih. Isparenja koja se emituju u procesu štampe, dospevaju u radnu i životnu okolinu i vrlo se lako inhalacijom unose u organizam. Tehnike štampe koriste boje različitog hemijskog sastava [1].

Lakosparljiva organska jedinjenja (*Volatile organic compounds*, VOCs) čine oko 98 do 99% ukupnih emisija toksičnih zagađivača iz grafičke industrije. Tokom procesa štampe, ključni izvori emisije ovih jedinjenja obuhvataju sledeće materijale: sredstvo za vlaženje u ofset štampi, razvijače, organske rastvarače, kao i sredstva za čišćenje. Značajna VOCs isparenja mogu nastati i iz procesa lakiranja lakovima na bazi rastvarača. Ostali VOCs izvori u grafičkoj proizvodnji obuhvataju: procese spajanja, premazivanja, sušenja, čišćenja, mešanja boja, izrade ploča i otiskivanja [2].

U okviru grafičke industrije, često se prate koncentracije VOCs kako bi se definisali potencijalni rizici od zagađenja vazduha. Toluol, metiletil keton, izopropil alkohol i aceton su neka od uobičajenih VOCs koja podležu analizi. Brzina isparavanja je direktno zavisna od pritiska rastvarača: veći pritisak rastvarača rezultira većom brzinom isparavanja, kao što je slučaj sa toluolom.

Radi smanjenja VOCs emisija tokom procesa štampanja, ključno je redukovati upotrebu materijala koji sadrže isparljiva organska jedinjenja, i po mogućstvu, zameniti ih manje isparljivim alternativama [2].

Gasna hromatografija predstavlja specifičnu, osetljivu i dinamičnu metodu za separaciju i detekciju komponenata prisutnih u smešama isparljivih organskih komponenata ili trajnih neorganskih gasova. Da bi neka supstanca mogla biti analizirana tehnikom gasne hromatografije, neophodno je da bude lako isparljiva i stabilna na temperaturama isparavanja. Takođe, od suštinske važnosti je adekvatno definisati i izabrati mobilnu i stacionarnu fazu [3, 4].

U eksperimentalnom segmentu rada, sprovedena je kvantitativna gasno-hromatografska analiza lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz ofset i tampon grafičkih boja na bazi rastvarača. Pojedinačna i ukupna lakoisparljiva jedinjenja su analizirana u neposrednoj blizini odabranih grafičkih boja korišćenjem mobilnog gasnog hromatografa Voyager. Uporednom analizom koncentracija pojedinačnih i ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz ofset i tampon grafičkih boja, utvrđen je doprinos ispitivnih boja na kvalitet vazduha učionice.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Karakteristike grafičkih boja

Za procenu prisustva i koncentracija individualnih *(Individual Volatile Organic Compounds, IVOCs)* i ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja (*Total Volatile Organic Compounds*, TVOCs) na kvalitet vazduha učionice odabrane su ofset i tampon procesne grafičke boje: cijan (C), magenta (M), žuta (Y) i crna (K).

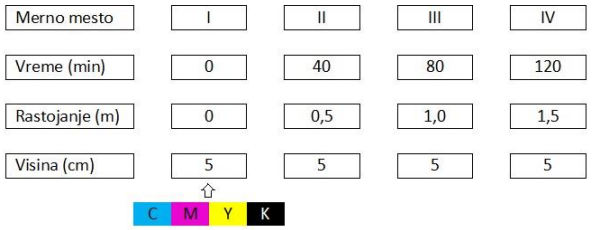
Procesne ofset boje (proizvođača SunChemical a member of the DIC group, Engleska) su na bazi mineralnih ulja, lakova i rastvarača, dok su odabrane procesne Glass Ink GL tampon boje (proizvođača Marabu GmbH & Co. KG, Nemačka) dvokomponentne boje sačinjene od pigmenta i veziva na bazi rastvarača.

2.2. Uzorkovanje lakoisparnjivih organskih jedinjenja

Gasoviti uzorci za analizu IVOCs i TVOCs iz odgovarajuće grafičke boje sakupljani su mobilnim gasnim hromatografom Voyager (proizvođača Perkin Elmer Photovac, USA) po otvaranju posude na svakih 40 minuta i sa povećanjem rastojanja od posude boje za 0,5 m. Šema uzimanja gasovitih uzorak za analizu lakoisparljivi jedinjenja iz grafičke boje prikazana je na slici 1. Posuda sa odgovarajućom bojom se

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, vanr. prof.

nalazila na sredini prostorije (učionice) dimenzija: 4 m širine, 4 m dužine i 3 m visine.



Slika 1. *Šema uzorkovanja lakoisparljivih organskih jedinjenja iz procesnih grafičkih boja*

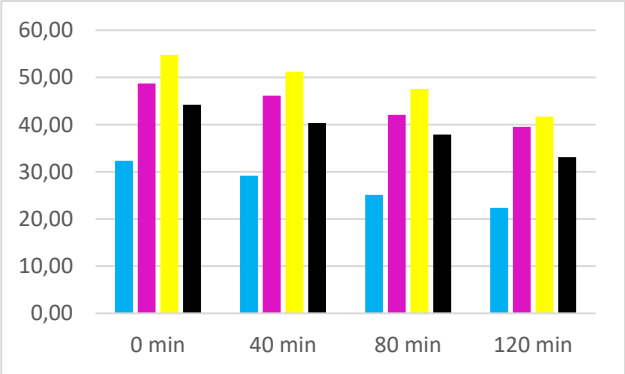
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Lakoisparljiva organskih jedinjenja emitovana iz procesnih ofset grafičkih boja

Iz procesnih ofset grafičkih boja u neposredno grafičko okruženje se emituju: izopropanol i aceton. Detektovane su i koncentracije TVOCs iz analizirnih boja.

Izopropanol

Koncentracije izopropanola opadaju u sledećem nizu ofset grafičkih boja (slika 2): žuta > magenta > crna > cijan.



Slika 2. *Koncentracije izopropanola emitovanog iz procesnih ofset grafičkih boja*

Izopropanol emitovan iz cijan ofset boje detektuje se u intervalu od 32,32 do 22,34 ppm. Iz magenta ofset boje izopropanol se emituje u intervlu od 48,71 do 39,51 ppm. Za žutu ofset boju detektovane su koncentracije u intervalu od 54,77 do 41,69 ppm, dok je za crnu boju interval od 44,21 do 33,12 ppm.

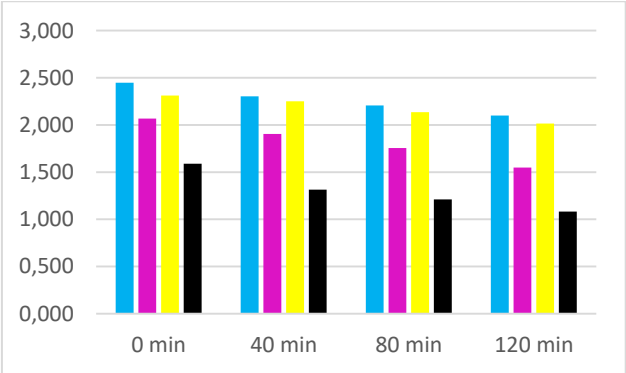
Udaljavanjem od same grafičke boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije izopropanola opadaju za: 30,7% (cijan), 18,9% (magenta), 23,9% (žuta) i 25,1% (crna).

Aceton

Detektovane koncentracije acetona opadaju u sledećem nizu ofset grafičkih boja (slika 3): cijan > žuta > magenta > crna.

Cijan ofset boja emituje aceton u intervalu od 2,447 do 2,099 ppm, dok žuta emituje u intervalu od 2,311 do 2,015 ppm. Detektovane koncentracije acetona za magentu i crnu ofset boju su u intervalima od 2,068 do 1,549 ppm i od 1,589 do 1,081 ppm, redom.

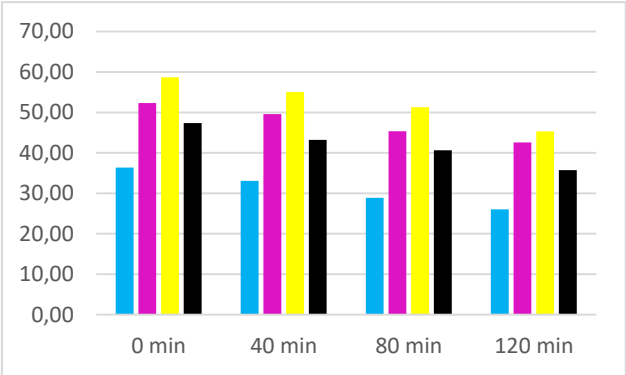
Rezultati detekcije pokazuju da udaljavanjem od same ofset grafičke boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije acetona opadaju za: 14,2% (cijan), 25,1% (magenta), 12,8% (žuta) i 32,0% (crna).



Slika 3. *Koncentracije acetona emitovanog iz procesnih ofset grafičkih boja*

TVOCs

Koncentracije TVOCs opadaju u sledećem nizu ofset grafičkih boja (slika 4): žuta (58,7 - 45,3 ppm) > magenta (52,3 - 42,6 ppm) > crna (47,4 - 35,8 ppm) > cijan (36,4 - 26,0 ppm).



Slika 4. *Koncentracije ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih ofset grafičkih boja*

Dobijeni rezultati pokazuju da se koncentracije TVOCs smanjuju, sa povećanjem rastojanja (od 0 do 1,5 m) i vremena analize (od 0 do 120 min), kao i koncentracije detektovanih IVOCs, tj. izopropanola i acetona.

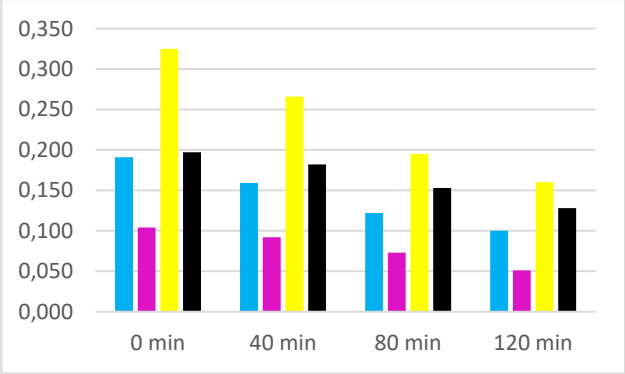
Maksimalne razlike između zbira koncentracija IVOCs i TVOCs iznose: 1,614, 1,550, 1,621 i 1,563 ppm za cijan, magentu, žutu i crnu ofset boju, redom. Razlike koncentracija ukazuju na prisustvo IVOCs koje moblni gasni hromatograf Voyager ne može da detektuje. Za njihovu detekciju je potrebna primena drugih instrumentalnom metodom, poput apsorpcije.

3.2. Lakoisparljiva organskih jedinjenja emitovana iz procesnih tampon grafičkih boja

Rezultati gasno hromatohrafskog monitoringa lakoisparljivih organskih jedinjenja iz procesnih tampon grafičkih boja pokazuju da iste emitiju u neposredno grafičko okruženje: izopropanol, aceton i metiletil keton (MEK). Takođe su detektovane i koncentracije TVOCs emitovanih iz procesnih tampon grafičkih boja.

Izopropanol

Koncentracije izopropanola opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 5): žuta > crna > cijan > magenta.



Slika 5. *Koncentracije izopropanola emitovanog iz procesnih tampon grafičkih boja*

Izopropanol emitovan iz cijan tampon boje detektuje se u intervalu od 0,191 do 0,100 ppm.

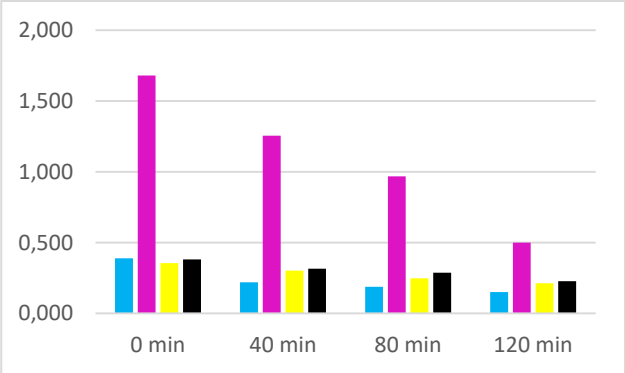
Iz magenta tampon boje izopropanol se emituje u intervlu od 0,104 do 0,051 ppm.

Za žutu tampon boju detektovane su koncentracije u intervalu od 0,325 do 0,160 ppm, dok je za crnu boju interval od 0,197 do 0,128 ppm.

Evidentno je da sa udaljavanjem od same tampon boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije izopropanola opadaju za: 47,7% (cijan), 51% (magenta), 50,8% (žuta) i 35% (crna).

Aceton

Uočava se da koncentracije acetona opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 6): magenta > cijan > crna > žuta.



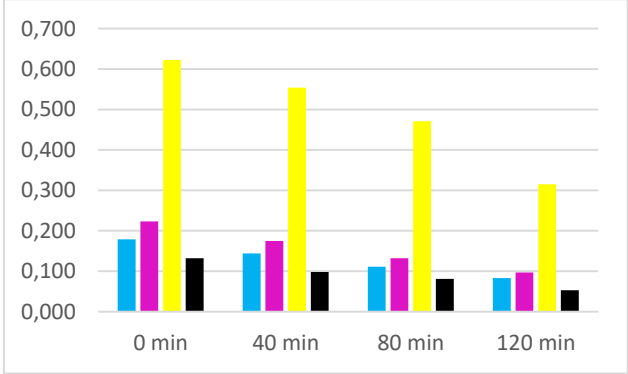
Slika 6. *Koncentracije acetona emitovanog iz procesnih tampon grafičkih boja*

Cijan tampon boja emituje aceton u intervalu od 0,389 do 0,150 ppm. Magenta tampon boja emituje aceton u intervlu od 1,680 do 0,499 ppm. Detektovane su koncentracije acetona za žutu i crnu tampon boju u intervalima od 0,355 do 0,212 ppm i od 0,381 do 0,227 ppm, redom.

Rezultati detekcije pokazuju da udaljavanjem od same tampon grafičke boje i sa porastom vremena uzorkovanja koncentracije acetona opadaju za: 61,4% (cijan), 70,3% (magenta), 44,4% (žuta) i 36,1% (crna).

Metiletil keton

Na osnovu dobijenih rezultata uočava se da koncentracije MEKa opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 7): žuta > magenta > cijan > crna.



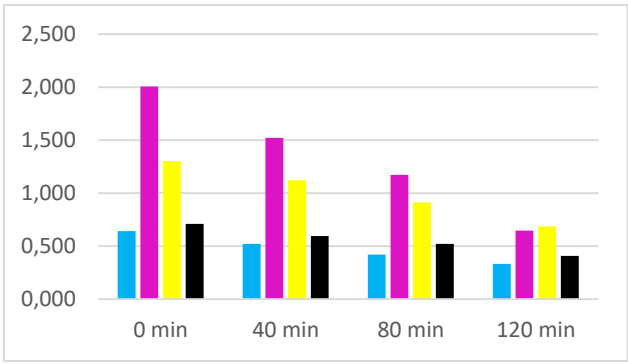
Slika 7. *Koncentracije metiletil ketona emitovanog iz procesnih tampon grafičkih boja*

Cijan i magenta tampon boje emitujju MEK u intervalima od 0,179 do 0,083 ppm i od 0,223 do 0,097 ppm, redom. Koncentracije MEK detektovane za žutu i crnu tampon boju su u intervalima od 0,622 do 0,315 ppm i od 0,132 do 0,053 ppm, redom.

Kao i u slučaju izopropanola i acetona, rezultati detekcije pokazuju da udaljavanjem od same tampon grafičke boje i sa porastom vremena detekcije koncentracije MEKa opadaju za: 53,6% (cijan), 56,5% (magenta), 49,4% (žuta) i 59,8% (crna).

TVOCs

Koncentracije TVOCs opadaju u sledećem nizu tampon grafičkih boja (slika 8): magenta (2,0 - 0,65 ppm) > žuta (1,3 - 0,69 ppm) > crna (0,71 - 0,41 ppm) > cijan (0,6 - 0,3 ppm).



Slika 8. *Koncentracije ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih tampon grafičkih boja*

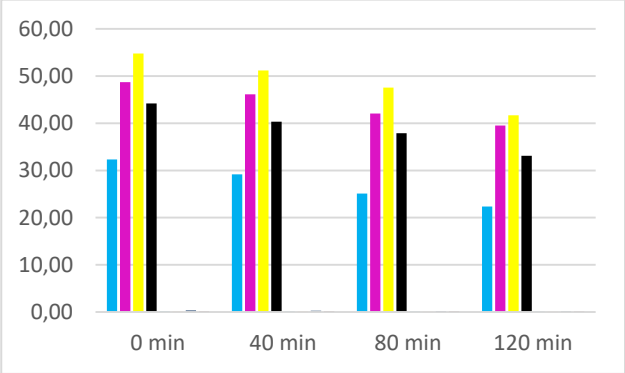
Maksimalne razlike između zbira IVOCs i TVOCs iznose: 0,829, 0,523, 0,698 i 0,591 ppm za cijan, magentu, žutu i crnu tampon boju, redom. Razlike ukazuju na prisustvo IVOCs koje moblnim gasnim hromatograf Voyager ne može da detektuje, pa je potrebna primena druge instrumentalne metode za njihovu detekciju.

Dobijeni rezultati pokazuju da se koncentracije TVOCs iz analiziranih procesnih tampon grafičkih boja smanjuju sa rastojanjem i vremenom analize kao i detektovani IVOCs.

3.3. Komparacije koncentracija IVOCs i TVOCs emitovanih iz ofset i tampon grafičkih boja

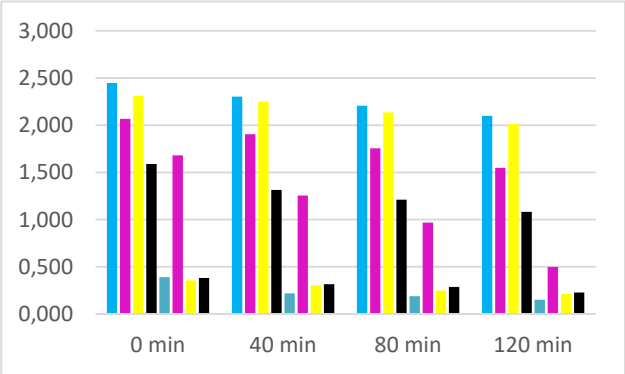
Poređenjem koncentracija IVOCs emitovanih iz analiziranih grafičkih boja uočava se da sve četiri procesne ofset

boje emituju za više od 99,4% izopropanola u odnosu na procesne tampon boje (slika 9).



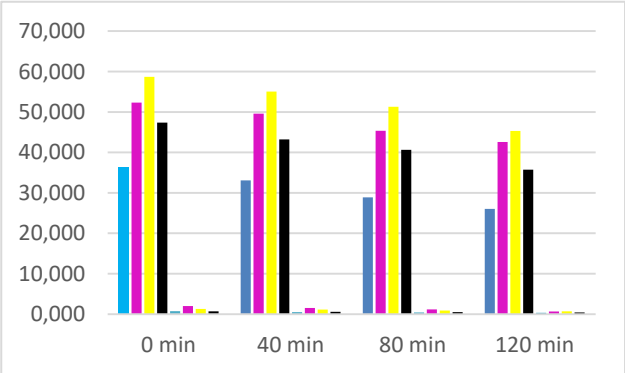
Slika 9. *Poređenje koncentracija izopropanola emitovanog iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja*

Koncentracije acetona emitovane iz procesnih ofset grafičkih boja su više, u odnosu na tampon boje, u intervalu: od 84,1 do 92,9% za cijan, od 18,8 do 67,8% za magentu, od 84,6 do 89,5% za žutu i od 76,0 do 79,0% za crnu boju (slika 10).



Slika 10. *Poređenje koncentracija acetona emitovanog iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja*

Poređenje koncentracija TVOCs emitovanih iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja pokazuje da se preko 96,2% više TVOCs oslobađa u grafičko okruženje iz procesnih ofset boja (slika 11).



Slika 11. *Poređenje koncentracija ukupnih lakoisparljivih organskih jedinjenja emitovanih iz procesnih ofset i tampon grafičkih boja*

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu kvantitativne gasno hromatografske analize utvrđeno je da procesne ofset grafičke boje u neposredno grafičko okruženje od IVOCs emituju izopropanol i aceton, dok procesne tampon grafičke boje emitiju: izopropanol, aceton i MEK.

Najviše izopropanola emituje žuta ofset boja intervalu od 54,77 (na početku analize) do 41,69 ppm (posle 120 min). Dok su kod žute tampon boje koncentracije izopropanola u intervalu od 0,325 do 0,160 ppm. Dakle, utvrđeno je da četiri procesne ofset boje emituju za više od 99,4% izopropanola u odnosu na procesne tampon boje.

Cijan ofset boja najviše emituje aceton u intervalu od 2,447 do 2,099 ppm. Kod tampon procesnih boja magenta emituje najviše acetona u intervalu od 1,680 do 0,499 ppm. Utvrđeno je da procesne cijan, magenta, žuta i crna ofset boje odnosu na procesne tampon boje emituju aceton za više od 84,1%, 18,8 %, 84,6% i 76,0 %, redom.

Koncentracije MEKa su detektovane samo kod procesnih tampon boja, među kojima žuta boja emituje najviše MEKa u intervalu od 0,622 do 0,315 ppm.

Kod obe vrste procesnih boja je utvrđeno da:

- Udaljavanjem od same grafičke boje (od 0 do 1,5 m) i sa porastom vremena uzorkovanja (od 0 do 120 min) koncentracije IVOCs i TVOCs opadaju.
- Razlike između zbira koncentracija IVOCs i TVOCs ukazuju na prisustvo IVOCs koje moblnim gasnim hromatograf Voyager ne može da detektuje. Za njihovu detekciju koje je potrebna primena drugih instrumentalnih metoda (npr. apsorpcije).
- U Republici Srbiji ne postoji zakonska regulativa kojom se propisuju maksimalno dozvoljene koncentracija IVOCs i TVOCs u učionicama.

5. LITERATURA

[1] https://vtsns.edu.rs/tempus/wp-content/uploads/2013/05/Uticaj-boja-u-grafickoj-industriji-na-radnu-i-zivotnu-sredinu.pdf (pristupljeno u avgustu 2023.)

[2] B. Ružičić, N. Babić, "Isparljiva organska jedinjenja u grafičkoj industriji", Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2013.

[3] D. Šojić Merkulov, B. Abramović, S. Armaković, N. Finčur, "Hromatografske metode analize", Novi Sad, Republika Srbija, Prirodno-matematički fakultet, 2021.

[4] M. Prica, S. Adamović, "Hemija u grafičkom inženjerstvu", Novi Sad, Republika Srbija, Fakultet tehničkih nauka, 2020.

Kratka biografija:

Andrea Salma rođena je u Zrenjaninu 1996. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičkog inženjerstva i dizajna odbranila je 2023. godine.
kontakt: andrea.salma@yahoo.com

Savka Adamović rođena je u Novom Sadu 1976. godine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine, a od 2022. godine je u zvanju vanredni profesor.
kontakt: adamovicsavka@uns.ac.rs

Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

UDK: 655.3.022:004.9
DOI: https://doi.org/10.24867/26EF03Bogdanovic

ПОНОВЉИВОСТ ШТАМПЕ НА ЕЛЕКТРОФОТОГРАФСКИМ СИСТЕМИМА RICOH PRO 8100SE, RICOH PRO C7100X И RICOH PRO C7200X

REPEATABILITY OF PRINTING ON ELECTROPHOTOGRAPHIC SYSTEMS RICOH PRO 8100SE, RICOH PRO C7100X AND RICOH PRO C7200X

Филип Богдановић, Немања Кашиковић, Растко Милошевић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – ГРАФИЧКО ИНЖЕЊЕРСТВО И ДИЗАЈН

Кратак садржај – *Истраживање има за циљ испитивање поновљивости штампе штампарских система Ricoh Pro 8100se, Ricoh Pro C7100x i Ricoh Pro C7200x, који раде на принципу електрофотографије са сувим тонером. Тест карта коришћена за потребе овог рада одштампана је на три различите подлоге у три временска интервала. Испитивање је рађено објективном методом мерења, помоћу мерног уређаја спектрофотометра. Добијањем резултата оптичке густине и пораста тонских вредности долази се до закључка о квалитету поновљивости штампе.*

Кључне речи: *Дигитална штампа, Електрофотографија, Контрола квалитета, Поновљивост штампе*

Abstract – *The research aims to test the print repeatability of the Ricoh Pro 8100se, Ricoh Pro C7100x and Ricoh Pro C7200x printing systems, which work on the principle of electrophotography with dry toner. The test card used for the purposes of this paper was printed on three different substrates in three time intervals. The test was conducted using an objective measurement method, using a spectrophotometer measuring device. By obtaining the results of the optical density and the increase in tonal values, a conclusion is reached about the quality of the reproducibility of the print.*

Keywords: *Digital printing, Electrophotography, Quality control, Repeatability of printing*

1. УВОД

Развојем и напретком друштва долази до све веће потребе за умножавањем и репродукцијом одређеног записа, како текстуалног тако и графичког, те се потреба за штампом развија и унапређује. Данас је дигитална штампа захваљујући свом напретку потпуно заменила конвенционалне технике штампе. Напредак дигиталне штампе се огледа у потреби за што квалитетнијим отиском штампе, који ће визуелно задовољити изглед у односу на референтни отисак, али и да се тај квалитет отиска задржи приликом штампе, како у току целог тиража, тако и приликом поновне штампе новог тиража.

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Немања Кашиковић, ред. проф.

2. КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА

Квалитет штампе је битна карактеристика у добијеном крајњем производу. Квалитет штампе можемо дефинисати преко јасноће одштампаних докумената или слике, постигнутом применом висококвалтетне опреме и одражава се у складу са параметрима резолуције, тачности боја и контраста. Како би се адекватно проценио квалитет штампе, често се користи комбинација субјективне визуелне анализе и објективна мерења. Објективно мерење се углавном обавља помоћу денситометра и спектрофотометра, на овај начин се врши објективна анализа квалитета штампе и информације о боји. Уколико се квалитет штампе представља само субјективном визуелном анализом, добијају се резултати са мањом прецизношћу и мањом тачношћу, јер она овај начин добијамо резултате који највећим делом зависе од индивидуалних карактеристика процењивача и услова у којима се анализа обавља. Под појмом поновљивости штампе мисли се на добијање отиска приликом штампе тиража са истим или приближним физичким и визуелним карактеристикама, а важно је и да се приликом каснијег доштампавања или штампе новог тиража добијени отисци буду са истим карактеристикама као у претходним тиражима у погледу физичких и визуелних својстава.

За традиционалне штампарске технике, попут офсет штампе, постоје добро дефинисани стандарди који прописују детоде и референтне вредности како бисмо могли оценити квалитет отиска. Код дигиталне технике због непрестаног развитка, још увек нису потпуно успостављени стандарди за процену квалитета отиска [1].

2.1. Оптичка густина

Оптичка густина је основна мера механичких карактеристика штампе. Израчунава се на основу количине светлости која се рефлектује од површине и тонера. Ово је једноставан начин за процену промена у дебљини слоја тонера или концентрацији тонера која се наноси. Што је слој тонера дебљи или концентрација већа, више светлости се апсорбује,а а мање рефлектује што резултира тамнијим изгледом и већом густином према мерењима инструмента [2]. Постоји чврста веза између дебљине наноса боје и оптичке густине боје. Колико боја апсорбује нанос зависи од нијансе боје, дебљине наноса и врсте и концентрације пигмената у штампарској боји. Једини променљив фактор током процеса штампе је дебљина

наоса боје, док су нијанса боје и концентрација пигмента константни. Мањи нанос боје у штампи резултира светлијом нијансом, мањом апсорпцијом и нижим вредностима оптичке густине према денситометријским мерењима [3].

2.2. Пораст тонских вредности

Пораст тонске вредности представља разлику између одштампане вредности тона и задате вредности тона у дигиталном документу за штампу. Вредност тона представља мерење вредности одштампане растерске тачке тона и дефинише се као проценат у односу на густину пуног тона [2]. Пораст тонске вредности укључује механичко повећање (раст физичког полутона растерске тачке) и оптичко повећање (како се тачка чини људском оку, због преламања светлости на подлози).

Репродукција слика и графике се добијају помоћу растерске тачке тона и у овим деловима ретко када имамо искључиво пуне тонове. У процесном штампању у четири боје, равротежа порасте тонске вредности између три процесне боје, цијан, магенте и жуте, је неопходна за репродукцију сиве и за репродукцију захтевних тонова. Прекомерна пораст тонске вредности у светлим деловима чини пастелне боје скоро немогућим за репродукцију [1,4].

3. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТА

Експеримент који је извршен у овом раду представља поновљивост електрофотографије са сувим тонером на штампарским машинама Ricoh Pro 8100se, Ricoh Pro C7100x и Ricoh Pro C7200x. Штампа је, на сва три штампарска система, рађена на три различита папира: Новел 90 g/m^2, Офсет 120 g/m^2 и Мат 200 g/m^2. Узорци су добијени у различитим временским интервалима, тако што је први узорак добијен на почетку испитивања, затим је други узорак добијен након 1h од штампе првог узорка, док је трећи узорак добијен након 24h од штампе првог узорка и тиме су добијена три временска интервала 0h, 0+1h и 0+24h.

Тест карта коришћена за мерење добијених узорака је QEA тест карта. Папири на којима је рађена штампа су у табацима SRA3 (320 x 450 mm) формата, док је тест карта A4 (210 x 297 mm) формата и позиционирана је на средини табака тако да је дужа страна тест карте паралелна са дужом страном табака за штампу. За потребе мерења нису коришћена сва поља са тест карте, већ само поља тонске репродукције. Мерење је обављено помоћу мерног уређаја спектрофотометар X-Rite i1 Pro.

4. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

У наставку рада су приказани резултати мерења белине, светлине, тона, оптичке густине и пораста тонске вредности на већ дефинисаним штампарским машинама, подлогама за штампу и временским интервалима штампе.

4.1. Резултати и анализа резултата мерења белине, светлине и тона узорка

Мерење белине, светлине и тона сваког од одштампаног узорка вршено је одабиром десет насумичних поља на ценој површини. Упоређено је девет различитих мерења по врсти папира, а на крају су упоређени резултати од сваке врсте папира међусобно.

На основу резултата добијених упоређивањем средње вредности белине на свим узорцима (график 1.) можемо закључити да су Офсет 120 g/m^2 и Мат 200 g/m^2 папири који су знатно бељи од папира Новел 90 g/m^2. Најмања одступања у белини показали су папири Офсет 120 g/m^2 и Мат 200 g/m^2, док Новел 90 g/m^2 има највеће осцилације у белини по својој површини. Папири Офсет 120 g/m^2 и Мат 200 g/m^2 садрже одређену количину избељивача чиме се постиже „плавичаст“ ефекат.

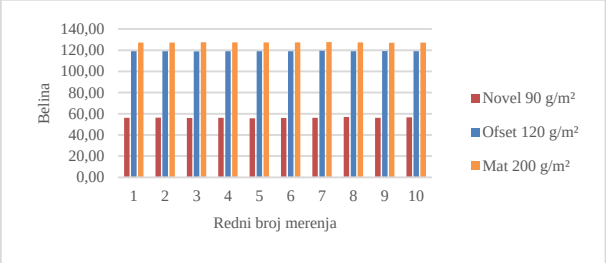


График 1. Поређење добијених резултата средње вредности белине на свим узорцима

Резултатима добијеним упоређивањем средње вредности светлине на свим узорцима (график 2.) можемо закључити да највећу светлину има папир Мат 200 g/m^2, затим на Офсет 120 g/m^2, док најмању вредност светлине поседује Новел 90 g/m^2. Добијањем ових резултата уочавамо директну повезаност белине са светлином папира, где повећањем количине оптичких избељивача светлина папира такође расте.

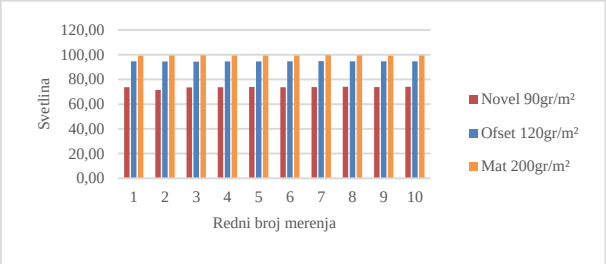


График 2. Поређење добијених резултата средње вредности светлине на свим узорцима

Резултати вредности тона указују на то да сви испитани узорци имају црвени тон су себи (график 3.). Највеће присуство црвеног тона запажа се на папиру Офсет 120 g/m^2, док је код Новел 90 g/m^2 и Мат 200 g/m^2 количина црвеног тона присутна у мањој мери.

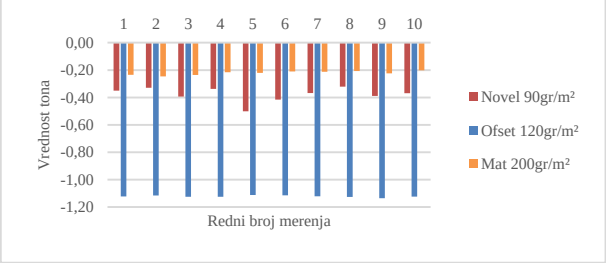


График 3. Поређење добијених резултата средње вредности тона на свим узорцима

4.2. Резултати и анализа резултата мерења оптичке густине

Пре почетка мерења оптичке густине на пољима пуног тона свеже процесне боје, мерни уређај је калибрисан на апсолутно белој плочици и анулиран на површини папира на коме је мерење вршено. Мерење је вршено по два пута на различитим местима поља пуног тона и узимана је средња вредност добијених резултата.

На графицима 4., 5. и 6. приказана је разлика између највеће и најмање средње вредности мерења добијене у различитим временским интервалима штампе.

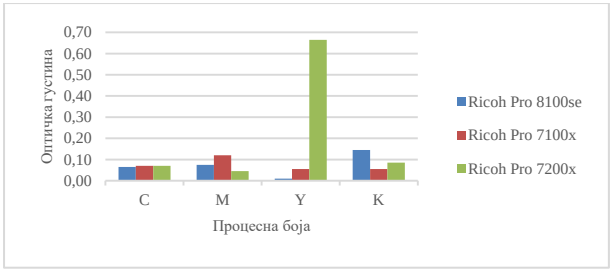


График 4. Упоређивање разлике максималне и минималне средње вредности мерења оптичке густине на папиру Новел 80 g/m²

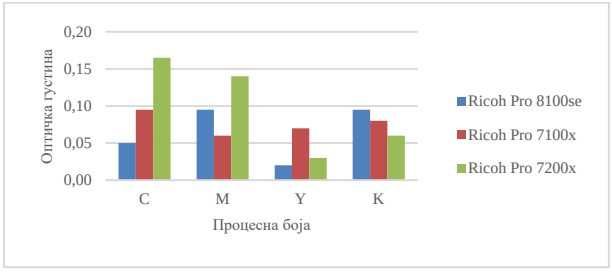


График 5. Упоређивање разлике максималне и минималне средње вредности мерења оптичке густине на папиру Офсет 120 g/m²

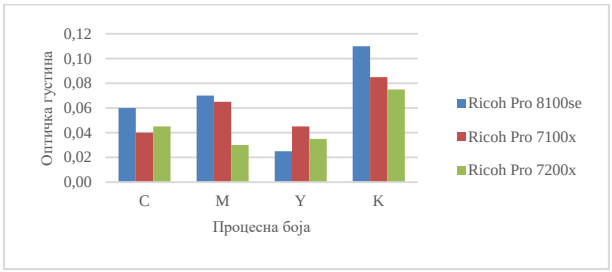


График 6. Упоређивање разлике максималне и минималне средње вредности мерења оптичке густине на папиру Мат 200 g/m²

На папиру Мат 200 g/m², могу се уочити најбољи резултати у погледу разлике измерених средњих вредности оптичке густине и на свим машинама бележимо вредност мању од 0,12. Тиме закључујемо да врста папира такође има утицаја на поновљивост штампе поред самог штампарског система. Најмања забележена разлика измерених средњих вредности оптичке густине је на папиру Новел 80 g/m² и на машини Ricoh Pro 8100se, док је највећа забележена разлика измерених средњих вредности оптичке густине такође на папиру Новел 80 g/m², али на машини Ricoh Pro 7200x.

4.3. Резултати и анализа резултата пораста тонске вредности

Пре почетка мерења, мерни уређај је калибрисан на узорку мерења, након чега је свако поље процесне боје од 90% до 10% тонске вредности, у корацима од по 10%, мерено по два пута за сваки узорак и добијена је средња вреност сваког измереног поља.

На графицима 7., 8. и 9. приказана је разлика између највеће и најмање средње вредности мерења добијене у различитим временским интервалима штампе на папиру Новел 80 g/m².

График 7. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Новел 80 g/m² и машини Ricoh Pro 8100se

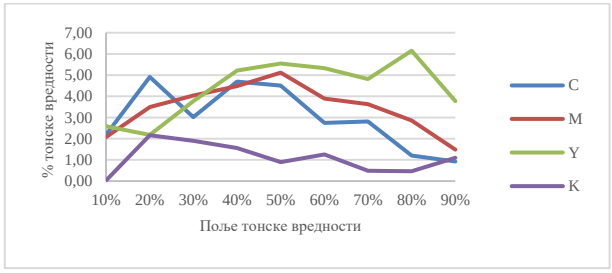


График 8. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Новел 80 g/m² и машини Ricoh Pro 7100x

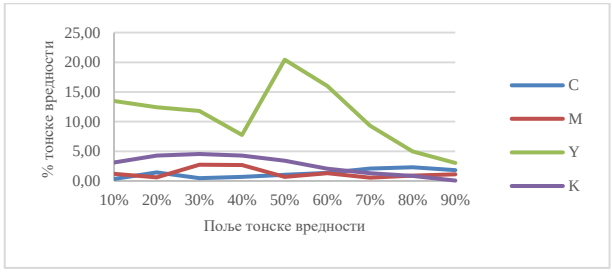


График 9. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Новел 80 g/m² и машини Ricoh Pro 7200x

На основу графика 7., 8. и 9. може се закључити да на подлози Новел 90 g/m² највећа пораст тонске вредности јавља се на машинама Ricoh Pro C7200x (на пољима жуте и црне) и Ricoh Pro C7100x (на пољима жуте и магенте).

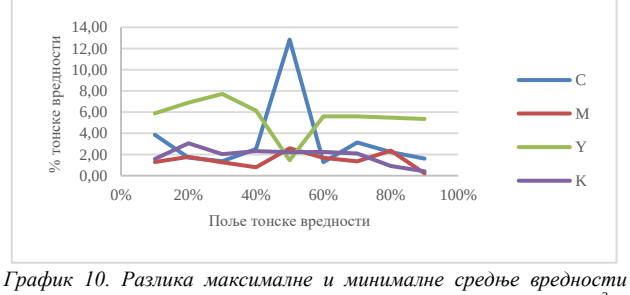


График 10. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Офсет 120 g/m² и машини Ricoh Pro 8100se

На графицима 10., 11. и 12. приказана је разлика између највеће и најмање средње вредности мерења до-

бијене у различитим временским интервалима штампе на папиру Офсет 120 g/m^2.

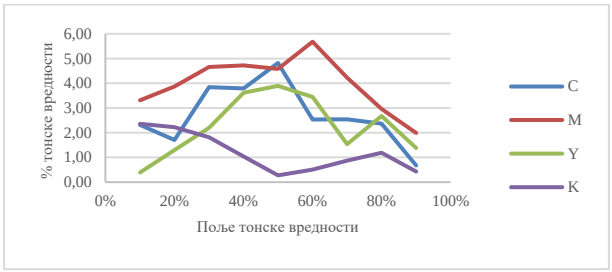


График 11. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Офсет 120 g/m^2 и машини Ricoh Pro 7100x

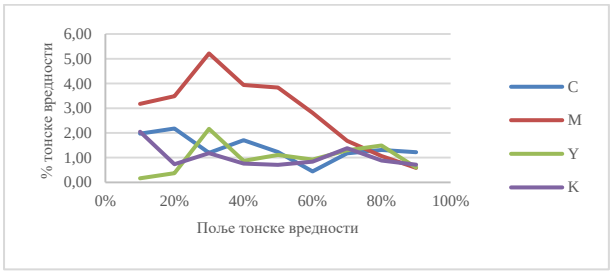


График 12. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Офсет 120 g/m^2 и машини Ricoh Pro 7200x

На основу графика 10., 11. и 12. може се закључити да на подлози Офсет 120 g/m^2 највећа пораст тонске вредности јавља се на машинама Ricoh Pro 8100se (на пољима цијана и жуте) и Ricoh Pro C7100x (на пољима магенте).

На графицима 13., 14. и 15. приказана је разлика између највеће и најмање средње вредности мерења добијене у различитим временским интервалима штампе на папиру Мат 200 g/m^2.

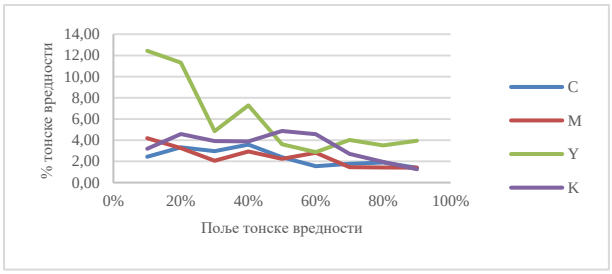


График 13. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Мат 200 g/m^2 и машини Ricoh Pro 8100se

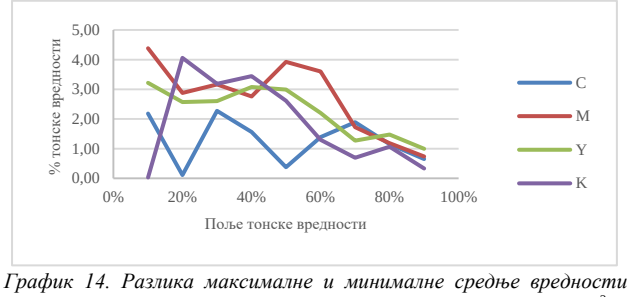


График 14. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Мат 200 g/m^2 и машини Ricoh Pro 7100x

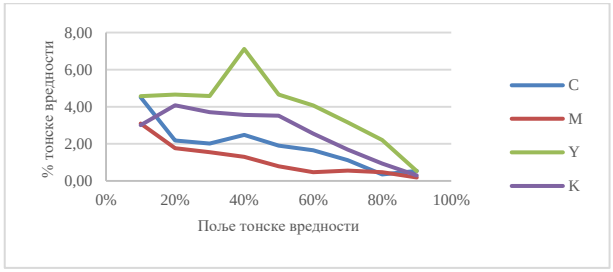


График 15. Разлика максималне и минималне средње вредности мерења пораста тонске вредности на папиру Мат 200 g/m^2 и машини Ricoh Pro 7200x

На основу графика 13., 14. и 15. може се закључити да на подлози Мат 200 g/m^2 највећа пораст тонске вредности се такође јавља код машина Ricoh Pro 8100se (на пољима жуте и црне) и Ricoh Pro C7100x (на пољима жуте и црне).

5. ЗАКЉУЧАК

Мерењем белине, светлине и тона папира добијају се резултати о визуелним карактеристикама папира које можемо касније користити за закључивање осталих резултата мерења. Мерењем белине, светлине и тона папира смо добили да је Мат 200 г/м^2 најбељи и најсветлији папир и да то произлази од највеће количине оптичких избељивача у његовом ставу.

Анализом оптичке густине резултати показују да папир поред система за штампу има утицај у поновљивости штампе и да се најбољи резултати добијају на папиру Мат 200 g/m^2, што може указати на то да оптички избељивачи позитивно утичу на квалитет и поновљивост штампе пуног тона.

Резултати пораста тонске вредности указују на квалитет свих испитаних штампарских система, где се најбољи резултати уочавају на Мат 200 g/m^2 и Офсет 120 g/m^2 на штампарским системима Ricoh Pro 7100x и Ricoh Pro 7200x. Оба папира имају добре оптичке карактеристике, а штампарски системи су производње новијег датума што указује на бољи квалитет штампе и унапређење штампатских система за дигиталу штампу.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] Jurič I. (2018) Model za kontrolu površinske uniformnosti digitalnih otisaka. Doktorska disertacija. Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn. Fakultet tehničkih nauka. Univerzitet u Novom Sadu

[2] Gundlach M. (2020) Measuring Density with A Densitometer

[3] Novaković D., Pavlović Ž., Karlović I., Pešterac Č. (2015) Reprodukciona tehnika: priručnik za vežbe. Novi Sad, FTN Izdavaštvo

[4] X-Rite (n.d.) A guide to understanding graphic arts densitometry

Кратка биографија:

Филип Богдановић рођен је у Јагодини 1995. године. Мастер студије на Факултету техничких наука из области Графичког инжењерства и дизајна завршава 2023. године.
Контакт: filipbogdanovic@uns.ac.rs

др Немања Кашиковић, редовни професор
Контакт: knemanja@uns.ac.rs

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 004.738.1:766
DOI: https://doi.org/10.24867/26EF04Milacic

PROCENA RIZIKA TOKOM IZRADE ŠTAMPANIH KOMPOSTABILNIH KESA

RISK ASSESSMENT DURING THE PRODUCTION OF PRINTED COMPOSTABLE BAGS

Tara Milačić, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – *Procena rizika za operacije i radne mašine tokom izrade flekso štampanih kompostabilnih kesa primenom Kinney metode je sprovedena u radu. U cilju procene rizika odrađene su: identifikacija opasnosti, kao i kvalitativna i kvantitativna analiza odabranih faktora i samog rizika. Takođe je u radu prikazan i predlog bezbedonosnih mera za sprečavanje ili otklanjanje rizika u radnom i životnom okruženju.*

Ključne reči: *Flekso tehnika štampe, kompostabilnost, ambalaža, procena rizika, Kinney metoda*

Abstract – *In the paper, the risk assessment for operations and machinery during the production of flexo-printed compostable bags using the Kinney method has been carried out. The risk assessment involved hazard identification, qualitative and quantitative analysis of selected factors, and the risk itself. The paper also presents recommendations for safety measures to prevent or minimize risks in the work and living environment.*

Keywords: *Flexo printing process, compostability, packaging, risk assessment, Kinney method*

1. UVOD

Ambalaža ima dve osnovne funkcije: zaštitu proizvoda od oštećenja i uticaja sredine i komercijalnu ulogu u privlačenju potrošača kroz dizajn i oblik. Ambalaža može biti transportna (za zaštitu pri transportu) ili komercijalna (direktno u kontaktu sa potrošačem). Takođe, ambalaža može biti nepovratna (jednokratna upotreba) ili povratna (višekratna upotreba i/ili recikliranje). Materijal ambalaže se bira u skladu sa potrebama i održivošću, i može biti papir, plastika, metal i staklo. Važan je i uticaj dizajna ambalaže na privlačnost proizvoda na tržištu [1].

Kompanije koriste kompostabilnu ambalažu kao deo savremenog poslovnog modela. Termin "kompostabilan" se odnosi na proizvode koji su sposobni da se razgrade i pretvore u koristan kompost. Da bi se postigla uniformnost, proizvodi moraju biti sertifikovani prema evropskim standardima koji detaljno definišu zahteve za ambalažne materijale prilagođene kompostiranju i biorazgradnji.

Standardi takođe uključuju jasne kriterijume za industrijsku kompostabilnost, gde se očekuje da se materijal potpuno razgradi u roku od šest meseci [2].

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, vanr. prof.

Kompostabilna ambalaža ima niz prednosti, uključujući: održivost, biorazgradivost, smanjenje otpada, podršku organskoj poljoprivredi, kvalitet, kao i marketinške benefite [3].

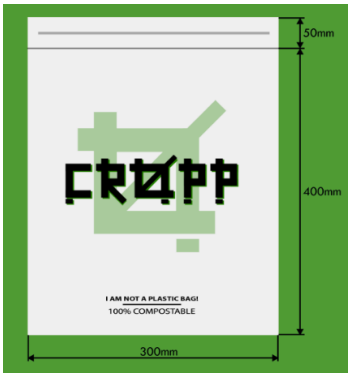
Za štampu kesa obično se koriste tri osnovne tehnike štampe: ofset, sito i flekso. Ofset štampa nije prikladna za kompostabilne kese jer ne ostavlja visokokvalitetan otisak, i upotrebljava ekološki manje prihvatljive solventne boje. Ograničenja u reprodukciji slika visoke tačnosti i gradaciji boja, čini sito štampu manje pogodnom za štampanje kompostabilnih kesa. Iako ima određene nedostatke u kvalitetu štampe, flekso štampa se trenutno koristi za štampanje kompostabilnih kesa zbog svoje ekološke kompatibilnosti i nižih investicionih troškova [4].

Procena rizika u proizvodnji je neophodna jer omogućava izučavanje potencijalnih opasnosti i nepredviđenih okolnosti koje mogu uticati na kvalitet i bezbednost radnika i proizvoda, ali i životne sredine. Rad istražuje metode i aspekte procene rizika u kontekstu izrade kompostabilnih kesa, obezbeđuje informacije o stepenu rizika i sadrži preporučljive preventivne mere koje treba primeniti u svrhu minimiziranja rizika i obezbeđivanja bezbednog okruženja za sve radnike.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Kompostabilna kesa

Karakteristike kompostabilne kese (slika 1) su sledeće: širina 300 mm, visina 400 mm, preklop od 50 mm i debljina od 50 μm. Izgrađena je od granulata skroba proizvedenog kompostiranjem.



Slika 1. *Kompostabilna kesa*

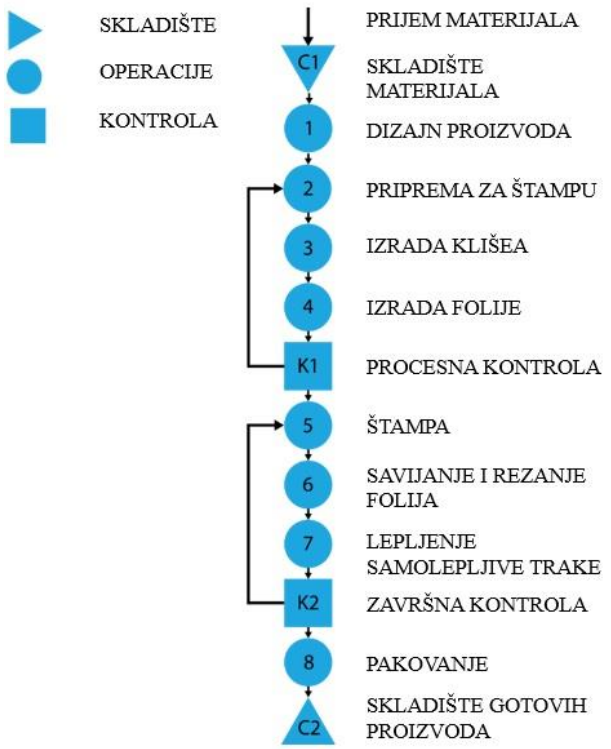
2.2. Operacije za proizvodnju kompostabilnih kesa

Izrada ambalažnih kompostabilnih kesa obuhvata sledećih šest tehnoloških operacija [4]:

- dizajn proizvoda,
- izradu folije,

- pripremu klišea za štampu,
- proces štampe,
- završnu grafičku obradu kesa sa tri tehnološka procesa: savijanje folije, rezanje kese i lepljenje samolepljive trake i
- pakovanje.

Dijagram toka procesa od ideje preko izrade do konačnog proizvoda prikazan je na slici 2.



Slika 2. *Dijagram toka proizvodnje*

Folija se proizvodi na mašini za duvanje filma sa rotacionom glavom TECOM Ekstruder (slika 3).

Slika 3. *Glava ekstrudera sa ekstrudovanom masom*

Kese se štampaju na flekso mašini Matila H4800. Klišei (kupljeni od preduzeća koje se bavi izradom klišea) se fiksiraju na valjke mašine za štampu pomoću obostrano samolepljive trake Duploflex.

Operacija završne grafičke obrade je podeljena na tri tehnološka postupka: savijanje folije, rezanje kese i lepljenje samolepljive trake i sprovodi se na multifunkcionalnoj mašini koja ima tri segemta, po jedan za svaku navedenu operaciju. Odštampana rolna se montira na držač folije na mašini za savijanje, rezanje i lepljenje samolepljive trake, a potom se kreće između transportnih valjaka gde se folija savija do potrebnog položaja. Istovremeno se na preklop folije montira samolepljiva traka. Folija sa zalepljenom samolepljivom trakom se doprema do noža koji seče kese. Nakon sečenja, radnik proverava kvalitet gotovih proizvoda. Podešavanjem brojača na mašini obezbeđuje se precizan i definisan broj komada na kojima radnik vrši završnu kontrolu [4].

2.3. Kinney metoda

Procena rizika prema Kinney metodi predstavlja efikasan alat za identifikaciju i analizu opasnosti u radnom okruženju. Metoda omogućava detaljno proučavanje radnog mesta i procenu potencijalnih rizika koji mogu uticati na bezbednost i zdravlje radnika. Kroz analizu verovatnoće i stepena štetnosti/opasnosti, Kinney metoda omogućava definisanje mera zaštite i kontrole radi smanjenja ili eliminacije rizika. Izračunavanje nivoa, odnosno ranga rizika (R) je prema izrazu (1), [5]:

$$R = V \cdot U \cdot P \qquad (1)$$

gde su potencijalni faktori rizika [5]:

- V – verovatnoća povređivanja/oboljevanja,
- U – učestalost i vreme izlaganja opasnostima/štetnostima i
- P – posledice, odnosno težina moguće povrede ili oboljenja.

Kroz numerički i kvalitativno izražene informacije, biće detaljno objašnjen stepen rizika za svaki faktor. Analiza po Kinney metodi pruža jasnu predstavu o tome koji faktori imaju najveći uticaj na bezbednost i zdravlje radnika, što ukazuje na najkritičnija područja na kojima treba primeniti odgovarajuće mere zaštite i smanjenje rizika.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Procena rizika tokom operacija flekso izrade kompostabilnih kesa primenom Kinney metode

Korišćenjem raspoloživih kvalitativnih i numeričkih podataka i služeći se ispravnim sistemom vrednovanja, moguće je objektivno oceniti stepen rizika za svaki od identifikovanih faktora prema Kinney metodi.

Informacije o različitim faktorima rizika (V, U i P) u flekso radnom okruženju prikazane su u tabelama od 1 do 7 za operacije: dizajn proizvoda, izradu folije, samu štampu, završnu grafičku obradu (savijanje, rezanje folije i lepljenje samolepljive trake) i pakovanje kompostabilnih kesa, redom.

Kroz analizu i ocenjivanje, svakom faktoru je dodeljen odgovarajući rang rizika na osnovu sistema vrednovanja. Na osnovu ovih analiza i ocena, mogu se preduzeti preventivne mere i akcije koje će smanjiti rizik i obezbediti bezbedno flekso okruženje za sve učesnike u proizvodnji kompostabilnih kesa.

Tabela 1. *Kvantitativna analiza rizika operacije dizajna proizvoda prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
RAČUNAR	0,1	1	6	0,6	1	Prihvatljiv rizik
	10	6	3	180	3	Umeren rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik

Na osnovu dobijenih numeričkih vrednosti prema Kinney metodi (tabela 1), radno mesto dizajnera proizvoda nije sa povećanim rizikom ($R \leq 60$). Međutim, postoji umereni rizik ($R = 180$) zbog dugog sedenja za računarom, za koji je potrebno definisati mere za smanjenje rizika (zauzeti najbolji mogući položaj tela tokom rada ili obezbediti operaterima odmore).

Tabela 2. *Kvantitativna analiza rizika operacije izrade folije prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
ESTRUDER	0,1	1	6	0,6	1	Prihvatljiv rizik
	0,5	6	1	3	1	Prihvatljiv rizik
	0,5	6	2	6	1	Prihvatljiv rizik
	6	6	1	36	2	Mali rizik

Dobijene numeričke vrednosti prema Kinney metodi (tabela 2) pokazuju da radno mesto operatera ekstrudera, za operaciju izrade folije, nije s povećanim rizikom ($R \leq 36$). Opasnosti od opekotina ili izloženosti isparljivim materijama ne zahtevaju bilo kakve aktivnosti za smanjenje rizika, ali treba obratiti pažnju i pratiti da li se rizik povećava.

Tabela 3. *Kvantitativna analiza rizika operacije štampe prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
MAŠINA ZA ŠTAMPU	0,1	1	6	0,6	1	Prihvatljiv rizik
	3	6	3	54	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik
	6	6	1	36	2	Mali rizik
	10	6	3	180	3	Umereni rizik
	6	6	1	36	2	Mali rizik

Prema numeričkim vrednostima Kinney metode (tabela 3), radno mesto operatera na mašini za štampu nije s povećanim rizikom. Za pet identifikovanih opasnosti postoji mali rizik ($36 \leq R \leq 60$) koji zahteva mere praćenja. Međutim, postoji i umereni rizik ($R = 180$) zbog dugog stajanja za flekso mašinom, za koji je potrebno definisati mere za smanjenje rizika (promeniti organizaciju rada, ako je to moguće, ili obezbediti operaterima odmore).

Na osnovu dobijenih numeričkih vrednosti prema Kinney metodi (tabela 4), radno mesto operatera na multifunkcionalnoj mašini za savijanje, rezanje i lepljenje samolepljive trake (segment za savijanje), za operaciju savijanja, nije s povećanim rizikom ($R \leq 60$). Takođe, opasnosti telesnih povreda i buke, tokom operacije savijanja, ne zahtevaju bilo kakve aktivnosti za smanjenje rizika, ali treba obratiti pažnju i pratiti da li se rizik povećava.

Tabela 4. *Kvantitativna analiza rizika operacije savijanja prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
MAŠINA Segment savijanje	0,1	1	6	0,6	1	Prihvatljiv rizik
	3	6	3	54	2	Mali rizik
	6	6	1	36	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik

Numeričke vrednosti prema Kinney metodi (tabela 5) ukazuju da radno mesto operatera na multifunkcionalnoj mašini za savijanje, rezanje i lepljenje samolepljive trake (segment za rezanje), za operaciju rezanja folije, nije s povećanim rizikom ($R \leq 60$). Takođe, navedene opasnosti ne zahtevaju bilo kakve aktivnosti za smanjenje rizika, ali je potrebno obratiti pažnju i pratiti da li se rizik povećava.

Tabela 5. *Kvantitativna analiza rizika operacije rezanja folije prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
MAŠINA Segment rezanje	0,1	1	6	0,6	1	Prihvatljiv rizik
	3	6	3	54	2	Mali rizik
	6	6	1	36	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik

Prema numeričkim vrednostima Kinney metode (tabela 6), radno mesto operatera na multifunkcionalnoj mašini za savijanje, rezanje i lepljenje samolepljive trake (segment za lepljenje samolepljive trake), za operaciju lepljenja, nije s povećanim rizikom ($R \leq 60$). Takođe, opasnosti od isparenja i buke ne zahtevaju bilo kakve aktivnosti za smanjenje rizika, ali je važno obratiti pažnju i pratiti da li se rizik povećava.

Tabela 6. *Kvantitativna analiza rizika operacije lepljenja samolepljive trake prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
MAŠINA Segment lepljenje	0,1	1	6	0,6	1	Prihvatljiv rizik
	6	6	1	36	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik

Tabela 7. *Kvantitativna analiza rizika operacije pakovanja prema Kinney metodi*

Radno mesto	V	U	P	R	Nivo rizika	Rezultat analize
MESTO za pakovanje	6	6	1	36	2	Mali rizik
	3	6	3	54	2	Mali rizik
	10	6	3	180	3	Umereni rizik
	10	6	1	60	2	Mali rizik

Na osnovu dobijenih numeričkih vrednosti prema Kinney metodi, radno mesto operatera na mestu za pakovanje nije sa povećanim rizikom ($R \leq 60$). Međutim, postoji umereni rizik ($R = 180$) zbog dugog stajanja, za koji je potrebno definisati mere za smanjenje rizika (promeniti organizaciju rada, ako je to moguće, ili obezbediti operaterima odmore).

3.2. Mere za smanjenje rizika u radnom i životnom okruženju

Ključne mere za smanjenje rizika u radnom i životnom okruženju su [6]:

- Identifikacija i procena rizika - uključuje analizu radnih procesa, upotrebu materijala i supstanci, fizičke uslove, mehaničke i električne aspekte, ergonomiju i druge faktore koji mogu dovesti do rizika. Definisanje prioriteta i izbor mera za smanjenje rizika zavise od navedene mere.
- Projektovanje bezbednosti - uključuje izbor bezbednih materijala, primenu tehničkih zaštitnih sistema, dizajn prostora sa ciljem izbegavanja opasnosti i primenu pravilnih radnih postupaka.
- Obuka i edukacija - obuhvatju poznavanje bezbednih radnih postupaka, korišćenje zaštitne opreme, prepoznavanje opasnosti i primenu prve pomoći ukoliko je to neophodno. Redovna edukacija i osvežavanje znanja o bezbednosti i zdravlju na radu su od velikog značaja za smanjenje rizika.
- Primena tehničkih i organizacionih mera - uključuje instalaciju bezbednih mašina i opreme, postavljanje zaštitnih barijera, primenu kontrolnih postupaka, usmeravanje kretanja i ergonomsko uređenje radnog okruženja.
- Procedure i protokoli – uključuju prevenciju, reagovanje na opasnosti i prvu pomoć. Procedure treba da budu dobro dokumentovane, lako razumljive i dostupne svim učesnicima.
- Nadzor i upravljanje - uključuju praćenje implementacije mera, regularnu evaluaciju rizika, reagovanje na incidente i redovno usavršavanje sistema za bezbednost i zdravlje na radu.
- Stimulisanje svesti o bezbednosti – obuhvata promovisanje kulture bezbednosti, naglašavanje značaja prevencije i obaveštavanja o bezbednosnim merama u cilju stvaranja bezbednog okruženja za sve.

Uklanjanje i smanjenje rizika u radnom i životnom okruženju je kontinualan proces koji zahteva snažnu angažovanost i saradnju svih učesnika. Primenom navedenih mera, mogu se smanjiti šanse za nastajanje nesreća, povreda i zdravstvenih problema, u cilju stvaranja bezbednog i zaštićenog okruženja za sve učesnike.

4. ZAKLJUČAK

Procena rizika je vitalni aspekt u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu i njena primena u grafičkoj proizvodnji ima suštinski značaj za zaštitu radnika i okoline. Upotreba Kinney metode u proceni rizika pokazala se kao veoma efikasan pristup, pružajući sistematičan i objektivan način za identifikaciju, analizu i rangiranje rizika.

Kvantitativna analiza rizika prema Kinney metodi pokazuje da radna mesta u proizvodnji kompostabilnih kesa bez povećanog rizika ($R \leq 60$) su:

- dizajner proizvoda za računarom,
- operater ekstrudera, za operaciju izrade folije,
- operater na mašini za štampu,
- operater na mašini za savijanje, rezanje i lepljenje samolepljive trake i
- operater na mestu za pakovanje.

Ipak, za određena radna mesta i operacije na mašinama definisani su umereni rizici zbog stajanja ili sedenja koji zahtevaju posebnu pažnju i mere za smanjenje (zauzeti najbolji mogući položaj tela tokom rada, bezbediti operaterima odmore ili promeniti organizaciju rada, ako je to moguće). Takođe, umereni rizik uključuje poboljšanje radnih procesa, obuku radnika o bezbednosti i primenu odgovarajuće zaštitne opreme. Potrebno je obratiti pažnju i pratiti da li se bilo koja vrsta rizika povećava.

Istraživanje je omogućilo analizu i strukturiranje rizika na način koji doprinosi boljem razumevanju opasnosti i omogućava primenu mera za sprečavanje incidenata. Ovo je od ključnog značaja ne samo za radnike u grafičkoj industriji, već i za održivost i odgovorno poslovanje u kontekstu zaštite životne sredine.

Rad nudi važan uvid u procenu rizika u proizvodnji kompostabilnih kesa i omogućava razmatranje mera za smanjenje rizika na radnom mestu. Bezbednost i zdravlje na radu su od suštinskog značaja i zahtevaju posvećenost i sprovođenje standarda i metoda procene rizika kako bi se zaštitili radnici i životna sredina.

5. LITERATURA

[1] https://beleske.com/ambalaza-i-pakovanje-robe/ (pristupljeno u junu 2023.)

[2] https://agrosavjet.com/sta-je-kompost-i-kako-ga-napraviti/ (pristupljeno u junu 2023.)

[3] https://www.clabel.org/en/bilgiler/kompostlanabilir-ambalaj-geri-donusturulemeyen-ambalajlara-alternatif-bir-cozumdur/ (pristupljeno u junu 2023.)

[4] T. Milačić, "Proces dizajna i projektovanja kompostabilnih kesa za potrebe prodavnica odeće CROPP", diplomski rad, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2022.

[5]https://www.academia.edu/35501320/Upravljanje_rizikom_Metode_za_procenu_rizika (pristupljeno u junu 2023.)

[6] https://www.znrfak.ni.ac.rs/serbian/010-STUDIJE/OAS-4-1/IV%20GODINA/PREDMETI/ZNR-409-PROFESIONALNI%20RIZIK/docs/Brosura%20bezbedan%20i%20zdrav%20rad.pdf (pristupljeno u junu 2023.)

Kratka biografija:

Tara Milačić rođena je u Novom Sadu 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičkog inženjerstva i dizajna odbranila je 2023. godine.
kontakt: tara.milacic@gmail.com

Savka Adamović rođena je u Novom Sadu 1976. godine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine, a od 2022. godine je u zvanju vanredni profesor.
kontakt: adamovicsavka@uns.ac.rs.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 655
DOI: https://doi.org/10.24867/26EF05Djordjevic

ANALIZA GRAFIČKOG OTPADA GENERISANOG TOKOM PROIZVODNJE PAPIRNIH PAKOVANJA ZA PEKARE

ANALYSIS OF THE PRINTING WASTE GENERATED DURING PRODUCTION OF PAPER PACKAGING FOR BAKERIES

Mirjana Đorđević, Savka Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Kratak sadržaj – *Analiza generisanog grafičkog otpada tokom jednomesečne proizvodnje papirne ambalaže za pekarsku industriju sprovedena je u radu. Kroz 3R koncept utvrđeno je da li je nastali otpad moguće: redukovati, ponovo upotrebiti, ili reciklirati. Takođe je ekološki uticaj na okruženje procesnih flekso boja procenjen na osnovu sadržaja teških metala.*

Ključne reči: *Flekso tehnika štampe, otpadni grafički materijali, CMYK flekso boje, teški metali*

Abstract – *The printing wastes generated during the one-month production of paper packaging for the bakery industry were analyzed in the paper. Through the 3R concept, it was determined whether the generated waste could be reduced, reused, or recycled. Also, the environmental impacts of the used printing inks were estimated based on the content of heavy metals.*

Keywords: *Flexo printing process, waste printing materials, CMYK flexo inks, heavy metals*

1. UVOD

Zaštita upakovanog proizvoda je najvažnija osobina ambalaže. U zavisnosti od njenih fizičko-hemijskih svojstava, ambalaža štiti upakovani proizvod od: neželjenog efekta svetlosti različitih talasnih dužina, razvoja mikroorganizama, vlage, kiseonika, toplote ili hladnoće. Na ovaj način, upakovani proizvod je u stanju da očuva svoje polazne karakteristike u različitim, nepovoljnim uslovima spoljašnje sredine. Takođe, nepravilo rukovanje proizvodom ili dugotrajno skladištenje može dovesti do fizičkih, hemijskih ili bioloških uticaja, tako da je ambalaža barijera koja sprečava, ili umanjuje štetne posledice po proizvod. Međutim, ambalaža, ne bi smela da reaguje ili da utiče na promene upakovanog proizvoda, ali usled nepravilnog rukovanja, gotovo svaka ambalaža može predstavljati potencijalnu opasnost po njen sadržaj [1].

Materijali koji se tradicionalno koriste za pakovanje namirnica uključuju: staklo, metale (aluminijumske folije i laminate, beli lim i bezkalajni čelik), papir i karton i plastike. Osim toga, više različitih vrsta plastika koriste se u krutoj i u elastičnoj (savitljivoj) formi.

Današnja ambalaža za namirnice često je sastavljena od nekoliko materijala da bi se iskoristile funkcionalne i estetske prednosti svakog od materijala [2]. Ambalaže od papira uglavnom se koriste u pekarskoj, mesarskoj i ugostiteljskoj delatnosti [3].

S jedne strane, ambalaža štiti upakovani sadržaj, ali s druge strane, tokom svog životnog ciklusa, ambalaža utiče na životnu sredinu, pa je neophodno postupati promišljeno sa ambalažnim otpadom, odnosno upravljati u skladu sa zakonskim regulativama.

Za vizuelni identitet ambalaže za pekarske proizvode primenjuje se flekso tehnika štampe. U flekso štampi, kao i u drugim tehnikama štampe, dolazi do nastanka štetnih materijala tokom proizvodnog procesa. Vrsta i količina štetnih materija zavise od raznih faktora, ali i od operacije koja se obavlja u tom trenutku. Tako u pripremi za flekso štampu prisutni su materijali u procesu razvijanja (filmovi, kupke za fiksiranje, kupke za razvijanje fotopolimernih štamparskih ploča i mešavine rastvarača za ispiranje pri obradi štamparske forme [4].

U procesu same štampe ambalaže za namirnice, koriste se flekso boje na bazi vode koje ne smeju da imaju štetan uticaj na namirnice, na radnike koji rukuju sa njima, ali i na okolinu. Ostaci upotrebljenih boja se mogu ponovo iskoristiti ili odložiti na predviđena mesta bez potencijalne opasnosti po okolinu. Nakon štampe, kadica sa bojom se lako čisti vodom [4].

Tokom procesa štampe i završne grafičke obrade ambalaže za namirnice javlja se i problem sa prašinom koja nastaje tokom uoptrebe papirnih materijala i operacije sečenja. Prašina ne predstavlja alarmantan problem jer većina štamparija poseduje ventilacione sisteme, ali tokom dužeg perioda izlaganja, može potencijalno uticati na zdravlje radnika. Otpad koji se javlja prilikom sečenja papira se uglavnom reciklira. Takođe se tokom završne grafičke obrade koristi se i lepilo na prirodnoj bazi, tako da njegovo odlaganje nema štetnog uticaja na okolinu [4].

Cilj rada je identifikacija i analiza količina ulaznih grafičkih materijala i generisanog otpada tokom jednomesečne proizvodnje papirne ambalaže za pekarsku industriju. Kroz primenu 3R koncepta je utvrđeno da li je nastali otpad moguće: redukovati, ponovo upotrebiti, ili reciklirati. Takođe, ekološki uticaj na okruženje procesnih (cijan, C, magente, M, žute, Y i crne, K) flekso boja procenjen je na osnovu sadržaja teških metala.

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Savka Adamović, van. prof.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Delatnost preduzeća

Osnovna delatnost preduzeća "Roto Papir Plus" doo u Krševici su uvoz i prerada papira, kao i proizvodnja papirne ambalaže za pekarsku, mesarsku, tekstilnu, metalnu, grafičku industriju i dr. [5].

2.2. Mašine u proizvodnom procesu

Proizvodni proces "Roto Papir Plus" preduzeća otpočinje prijemom materijala za dalju obradu. Pošto se dobijaju već gotove štamparske forme, preduzeće kreće sa radom od sledeće faze, tj. štampe. U zavisnosti od vrste finalnog proizvoda, preduzeće koristi mašine za: kaširanje i štampu, proizvodnju papirnih kesa i polukesa i pomoćne procese.

2.3. Materijali u proizvodnom procesu

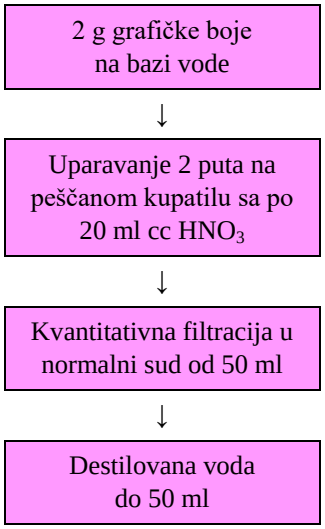
Papire koje preduzeće "Roto Papir Plus" upotrebljava čine: beli i braon papir za pečenje, lepljivi i perforirani papir za plotere tekstilne industrije, braon kraft (gramature od 115 do 275 g/m^2), beli kraft (gramature od 135 do 200 g/m^2), testlajner (gramature od 100 do 200 g/m^2), beli testlajner (gramature od 135 do 200 g/m^2) i fluting (gramature od 90 do 160 g/m^2).

Lepila koje preduzeće "Roto Papir Plus" koristi su LPC i S-gel 303030. Prema podacima kojima raspolaže preduzeće, lepila su kompatibilna sa životnom sredinom u pogledu toksičnosti.

Boje kompanije Huber Group d.o.o. koje preduzeće "Roto Papir Plus" koristi su prirodne, na bazi vode i ne sadrže kobalt.

2.4. Analiza sadržaja teških metala u flekso bojama na bazi vode

Metodom kisele digestije pripremljeni su uzorci CMYK flekso boja na bazi vode za određivanje sadržaja teških metala (kadmijuma, gvožđa, olova, nikla, cinka i hroma). Šematski prikaz postupka kisele digestije ispitivanih grafičkih boja prikazan je na slici 1.



Slika 1. *Postupak kisele digestije*

Za kiselu digestiju i određivanje sadržaja teških metala u uzorcima CMYK flekso boja na bazi vode upotrebljeni su instrumenti, laboratorijsko posuđe i hemikalije navedini u tabeli 1.

Tabela 1. *Instrumenti, laboratorijsko posuđe i hemikalije za postupak kisele digestije*

Instrumenti	Tehnička vaga (PS 2100/C2, RADWAG, Poljska) Peščano kupatlo Digestor Eksikator Atomski apsorpcioni spektrofotometar *(Thermo Scientific-SOLAAR S serije AA spectrometer)*
Laboratorijsko posuđe	Laboratorijske čase od 100 ml Menzure od 50 ml Normalni sudovi od 50 ml Stakleni levci Stakleni štapići Kvantitativni filter papir *(MACHEREY-NAGEL, Nemačka)*
Hemikalije	Koncentrovana azotna kiselina (85%, p.a., *Merck*, Nemačka) Standardni rastvori metala (Cd, Fe, Pb, Ni, Zn i Cr) od 1000 µg/ml *(AccuStandard, Inc., SAD)* Dejonizovana voda

Rezultati sadržaja teških metala u uzorcima CMYK flekso boja na bazi vode u alikvotima posle kisele digestije određeni su primenom atomske apsorpcione spektroskopije. Dobijeni rezultati sadržaja teških metala su u mg/L. Kako su CMYK flekso boje retke konzistencije, sadržaje je potrebno izraziti u mg/kg prema formuli (1), [6]:

$$\gamma\left(\frac{mg}{kg}\right) = \frac{C\left(\frac{mg}{L}\right)\cdot V\,(L)}{m\,(kg)} = \frac{C\left(\frac{mg}{L}\right)\cdot 0{,}05\ L}{0{,}002\ kg} \qquad (1)$$

gde su:

- γ – sadržaji teških metala (mg/kg) u uzorcima CMYK flekso boja na bazi vode,
- C – sadržaji teških metala (mg/L) u alikvotima CMYK grafičkih boja na bazi vode posle kisele digestije,
- V – zapremine alikvota CMYK flekso boja na bazi vode (0,05 L) i
- m – mase uzoraka CMYK flekso boja na bazi vode (0,002 kg).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Preduzeće "Roto Papir Plus" raspolaže velikim prostorom. U njemu se nalaze sve mašine, primljeni materijali, kao i gotovi proizvodi koji su spremni za isporuku. Činjenica je da upotrebljene količine grafičkih materijala kao i generisane količine otpada određuju: obim i kontinuitet posla, kao i zahtevi tržišta. Dodatno u

slučaju papira, zahtevi klijenata određuju format papira, a od formata zavisi i količina generisanog otpadnog papira.

Tabela 2 predstavlja stanje određenih materijala (papira i kartona) nakon kreiranja proizvoda. Ulaz tabele 2 predstavlja količinu materijala koja će biti iskorišćena radi kreiranja gotovih proizvoda. Iskorišćene količine materijala prikazane su kao izlaz tabele 2, dok je višak materijala za kasniju upotrebu prikazan kao stanje.

Tabela 2. *Prikaz stanja materijala nakon kreiranja proizvoda u periodu od 01.01.2022. do 31.01.2022*

Materijal	Ulaz (kg)	Izlaz (kg)	Stanje (kg)
SK papir u rolni	1135,00	1135,00	0,00
SK papirna kesa	4600,00	0,00	4600,00
SK u tabaku	13485,00	0,00	13485,00
Novinski papir u tabaku	10849,80	3568,00	7281,80
Novinski papir u rolni	49353,00	49353,00	0,00
Braon kraft u rolni	3520,00	3520,00	0,00
Beli kraft u tabaku	2710,00	0,00	2710,00
Ofset papir	2257,00	2257,00	0,00
Beli silikon kraft u tabaku	800,00	692,00	108,00
Braon silikon kraft	100,00	100,00	0,00
Sivi karton	1356,00	1356,00	0,00
Fotokopirni papir	100,00	50,00	50,00
Beli supfatni papir	2107,50	887,50	1220,00
Perforirani papir	668,00	668,00	0,00

3.1. Analiza otpada proizvodnje kroz 3R koncept

Grafički materijali korišćeni u flekso štampi su proizvedeni za višestruku upotrebu. Postoje opravdani razlozi za ponovno korišćenje grafičkih proizvoda i materijala zbog uštede u energiji i sirovinama, kao i smanjivanja troškova odlaganja.

S aspekta 3R koncepta rezultati pokazuju da se tokom proizvodnje ambalaže za pekarske proizvode generiše 20 vrsta otpada:

- 15 vrsta papira (superkalandirani, novinski, braon i beli kraft, testlajner braon, fluting, ofsetni, PVC ofsetni, beli i braon silikon kraft, fotokopirni, beli sulfatni, perforirani, glasine i glasine sa silikonom),
- 2 vrste kartona (karton + PP i sivi karton),
- grafička boja na bazi vode,
- lepilo i
- PP folija.

Dok se količine svih vrste papira, kartoni i PP folija (90% ukupnog otpada) mogu smanjiti i reciklirati, količine boje na bazi vode i lepila mogu se ponovo iskoristiti (10% ukupnog otpada). Za sve vrste papirnog i kartonskog otpada i PP folije smanjenje se može postići odabirom adekvatnog formata polaznih materijala kako bi se završnom obradom dobijalo što manje obrezanog otpada.

3.2. Reciklažni put papirnog otpada

Sekunarne sirovine preduzeća "Roto Papir Plus" (prodavac) se sakupljaju i prosleđuju preduzeću "ECOCETAS D.O.O." iz Trgovišta (kupac). Ugovorom između ova dva preduzeća je regulisana kupoprodaja i isporuka sekundarnih sirovina poput papira i kartona.

Prodavac se ugovorom obavezuje da za račun kupca prikuplja sekundarne sirovine i vrši isporuku istih.

Kupac svoju delatnost vrši na osnovu: integralne dozvole za sakupljanje i transport sekundarnih sirovina br. 19-00-00351/2015-1 od strane Ministarstva poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije. Kao i dozvole za skladištenje br. 501-28/2011-11 izdate od Sekretarijata za inspekcijske poslove i zaštite životne sredine Grada Vranja.

Prodavac se obavezuje da kupcu proda-isporuči stari (otpadni) papir čiji je dozvoljen sadržaj vlage 10%. Cena mešanog papir-karton otpada iznosi 4,00 din/kg.

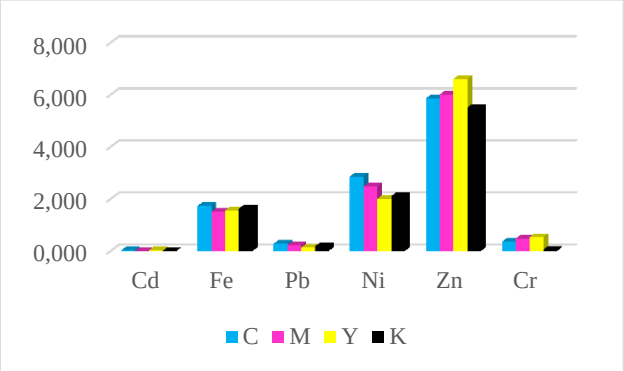
3.3. Sadržaj teških metala u flekso bojama na bazi vode

Ekološki uticaji na okruženje upotrebljenih procesnih CMYK flekso boja na bazi vode procenjeni su na osnovu sadržaja teških metala i njihove komparacije sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) definisanim Pravilnicima Republike Srbije, Nemačke i Engleske. Iako se radi o flekso bojama na bazi vode, sadržaj analiziranih teških metala u bojama je potrebno izraziti u masenoj koncentraciji, tj. u mg/kg (tabela 3).

Tabela 3. *Sadržaji (mg/kg) teških metala u uzorcima flekso boja na bazi vode*

Boja	γ (mg/kg)					
	Cd	Fe	Pb	Ni	Zn	Cr
C	0,025	1,725	0,275	2,850	5,850	0,350
M	< 0,025	1,500	0,225	2,475	6,000	0,475
Y	0,025	1,550	0,125	2,000	6,600	0,525
K	< 0,025	1,625	0,175	2,100	5,500	0,050

U procesnim CMYK flekso bojama na bazi vode prisutni su svi analizirani teški metali: kadmijum, gvožđe, olovo, nikal, cink i hrom. Uočava se da masene koncentracije u procesnim flekso bojama na bazi vode opadaju u nizu: cink > nikal > gvožđe > hrom > olovo > kadmijum (slika 2).



Slika 2. *Masene koncentracije detektovanih teških metala u CMYK flekso bojama na bazi vode*

Na osnovu dobijenih rezultata prema zastupljenosti u procesnim flekso bojama na bazi vode masene koncentracije metala opadaju u sledećim u nizovima:

- Cd: cijan = žuta > magenta = crna,
- Fe: cijan > crna > žuta > magenta,
- Pb i Ni: cijan > magenta > crna > žuta i
- Zn i Cr: žuta > magenta > cijan > crna.

S obzirom da ambalaža pekarskih proizvoda uglavnom završi preko komunalnog otpada na deponijskim zemljištima, dobijene vrednosti ispitivanih teških metala upoređene su sa Pravilnicima Republike Srbije, Nemačke i Engleske. S druge strane, ambalaža pekarskih proizvoda je u kontaktu sa namirnicama od brašna, tako da su vrednosti ispitivanih teških metala upoređene sa Pravilnikom Republike Srbije.

Prilikom procenjivanja da li je neko zemljište zagađeno teškim metalima ili ne, važnu smernicu predstavljaju MDK teških metala u zemljištu. U Republici Srbiji MDK teških metala u zemljištu definisane su Pravilnikom o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i metodama za njihovo ispitivanje, koji je objavljen u Službenom glasniku Republike Srbije (23/94). Međutim, ovaj pravilnik definiše MDK vrednosti samo za poljoprivredna zemljišta, dok za zemljišta različite namene (industrijska zemljišta, igrališta, parkovi itd.) u Srbiji ne postoje zakonom propisani maksimalni sadržaji teških metala [7].

Upoređujući sadržaje detektovanih teških metala u flekso bojama na bazi vode sa MDK prema srpskom zakonu, uočava se da masene koncentracije kadmijum, gvožđe, olovo, nikal, cink i hrom ne prelaze zakonske kriterijume. Dakle, upotrebljene flekso boje na bazi vode za štampu ambalaže pekarskih proizvoda, sa aspekta sadržaja teških metala nemaju negativan uticaj na poljoprivredna zemljišta.

Kako prehrambene namirnice dolaze u kontakt sa ambalažom, neophodno je sadržaj detektovanih teških metala u bojama na bazi vode uporediti i sa MDK vrednostima teških metala dozvoljenim za namirnice. Prama Pravilniku o količinama pesticida, metala i metaloida i drugih otrovnih supstanci, hemioterapeutika, anabolika i drugih supstanci koje se mogu nalaziti u namirnicama, namirnice se mogu stavljati u promet ako količina metala ili nemetala u istim nije veća od MDK [8].

Sadržaji kadmijuma u bojama na bazi vode su niži 92% u odnosu na MDK vrednost (0,5 mg/kg) u proizvodima od brašna [8]. Takođe i vrednosti masenih koncentracija za olovo (0,4 mg/kg) u cijan, magenta, žutoj i crnoj boji su niže 31, 44, 69 i 56%, redom. Međutim, nisu definisane MDK vrednosti preostalih analiziranih metala. Dakle, potrebno je ispitati odgovarajućim standardnim hemijskim testovima, da li dolazi, i u kojoj meri, do migracije teških metala iz ambalažnih materijala, kao i koliko su te migrirane koncentracije potencijalno štetne.

4. ZAKLJUČAK

Preduzeće "Roto Papir Plus" se, i pored toga što se nalazi u ruralnoj sredini, trudi da svoj otpad iskoristi na pravi način. Preduzeće tvrdi da se upotrebljeni grafički materijali maksimalno iskorišćavaju i da otpad najviše iznosi 1 do 2% od ukupne (ulazne) količine materijala. I pored tako malog procenta otpada, istim se mora upravljati u skladu sa 3R konceptom koji podrazumeva smanjenje, ponovo iskorišćenje i recikliranje otpada. Tako se preduzeće oslobađa otpada, a okruženje ne ugrožava.

Ekološki uticaji procesnih flekso boja za štampu ambalaže pekarskih proizvoda na okruženje procenjeni su na osnovu sadržaja teških metala i njihove komparacije sa maksimalno dozvoljenim vrednostima definisanim Pravilnicima Republike Srbije, Nemačke i Engleske. Upoređujući sadržaje detektovanih teških metala u flekso bojama na bazi vode sa MDK prema srpskom zakonu, uočava se masene koncentracije kadmijum, gvožđe, olovo, nikal, cink i hrom ne prelaze zakonske kriterijume. Dakle, upotrebljene flekso boje na bazi vode, nemaju negativan uticaj na poljoprivredna zemljišta.

Na osnovu male količine generisanog otpada, njegovog adekvatnog upravljanja i iskorišćavanja, kao i na osnovu bezbednog uticaja flekso boja koje preduzeće "Roto Papir Plus" koristi, zaključuje se da je otpad ovog preduzeća sveden na minimum i da nema štetnih uticaja na okruženje u kome se nalazi.

5. LITERATURA

[1]https://www.cris.uns.ac.rs/DownloadFileServlet/Disertacija156680669417035.pdf?controlNumber=(BISIS)111071&fileName=156680669417035.pdf&id=13314&source=NaRDuS&language=sr (pristupljeno u avgustu 2022.)

[2]https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/ambalazni-materijali (pristupljeno u avgustu 2022.)

[3]https://www.vtsns.edu.rs/tempusdocs/radnagrupa4/knjiga%202%20plana%20graf%20ispravljeno.pdf (pristupljeno u oktobru 2022.)

[4] https://www.motospeedbgd.com/ambalaza-i-materijali/papirna-ambalaza/ (pristupljeno u julu 2022.)

[5] https://www.yell.rs/profil/uvoz-i-prerada-papira-roto-papir-plus/ (pristupljeno u oktobru 2022.)

[6] W.J. Price, "Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption", London, England, Heyden & Son, pp. 252-253, 1979.

[7]https://www.pmf.ni.ac.rs/download/master/master_radovi_hemija/hemija_master_radovi/2017/Bojana-Stamenkovic_konacno.pdf (pristupljeno u oktobru 2022.)

[8] https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-kolicinama-pesticida-metala-metaloida-drugih-otrovnih-supstancija-hemioterapeutika.html (pristupljeno u oktobru 2022.)

Kratka biografija:

Mirjana Đorđević je rođena u Vranju 1997. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Grafičkog inženjerstva i dizajna odbranila je 2023. godine. Trenutno radi kao agent u kontakt centru, u slobodno vreme se bavi dizajnom.
kontakt: djordjevic.mirjana1997@gmail.com

Savka Adamović rođena je u Novom Sadu 1976. godine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. godine, a od 2022. godine je u zvanju vanredni profesor.
kontakt: adamovicsavka@uns.ac.rs

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 005.584
DOI: https://doi.org/10.24867/26HZ01Despotovic

BEZBIJEDNOST I ZDRAVLJE NA RADU U PROCESIMA ZAVARIVANJA

SAFETY AND HEALTH AT WORK IN WELDING PROCESSES

Paulina Despotović, Dragan Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU

Kratak sadržaj – *Zavarivanje je osnovni proizvodni proces koji se koristi u postupcima spajanja materijala u različitim industrijama. Poznavanje različitih tehnologija zavarivanja, od elektrolučnog do laserskog zavarivanja, omogućava izbor najpogodnije tehnike. Procesi zavarivanja mogu doprineti zagađenju vazduha kroz emisiju praškastih materija, uključujući suspendovane čestice iz kategorija PM_{10} i $PM_{2.5}$. Primjenom efikasnih ventilacionih sistema, kontrola izduvnih gasova i mehanizama za filtriranje, oslobađanje ovih praškastih supstanci se može svesti na minimum. U radu je istaknuta važnost upotrebe lične zaštitne opreme (LZO) kao ključne zaštite u okruženju zavarivača. Pravilan izbor i upotreba LZO može da umanji rizike povezane sa procesima zavarivanja i doprineti opštem blagostanju radnika.*

Ključne reči: *Tehnologija zavarivanja, PM_{10}, $PM_{2,5}$, BZNR pri zavarivanju*

Abstract – *Welding is a basic production process used in various industries, knowledge of various welding technologies, from electric arc to laser welding, enables the selection of the most suitable technique. Welding processes can contribute to air pollution through the emission of particulate matter, including PM_{10} and $PM_{2,5}$. By implementing efficient ventilation systems, exhaust gas controls and filtering mechanisms, the release of these dusty substances can be minimized. The paper highlights the importance of personal protective equipment (PPE) as a key protection in the welding environment. Proper selection and use of PPE can reduce the risks associated with welding processes and contribute to the general well-being of workers.*

Keywords: *Welding technology, PM_{10}, $PM_{2,5}$, safety and health at work during welding*

1. UVOD

Suspendovane čestice, posebno one prečnika manjeg od 2,5 μm ($PM_{2,5}$) su u fokusu naučne javnosti zbog štetnih efekata koje prouzrokuju, zbog čega su predmet posebnog interesovanja stručnjaka koji se bave kvalitetom vazduha. Ove čestice su toliko sitne da mogu lako da prodru u respiratorni sistem i uđu u krvotok predstavljajući potencijalni rizik po ljudsko zdravlje. $PM_{2.5}$ čestice mogu voditi poreklo iz prirodnih i antropogenih izvora.

NAPOMENA:
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Dragan Adamović.

Prirodni izvori uključuju prašinu vulkanskih emisija i polen, dok antropogeni izvori prvenstveno uključuju industrijske emisije, izduvne emisije motornih vozila i proizvodnju električne energije [1].

Kada se udahnu, ove sitne čestice mogu prodreti duboko u respiratorni sistem i dospeti do samih alveola u plućima. Ovo može dovesti do respiratornih problema kao što su otežano disanje, pojavom i pogoršanjem simptoma astme i alergija. Produžena izloženost visokim koncentracionim nivoima $PM_{2,5}$ povezana je sa kardiovaskularnim oboljenjima, plućnim poremećajima, pa čak i preranom smrću [2,3]. Da bi ublažile uticaje zagađenja česticama iz kategorije $PM_{2,5}$, vlade i agencije za zaštitu životne sredine širom svijeta primjenile su različite mjere. To uključuje postavljanje standarda kvaliteta vazduha koji regulišu industrijske emisije, promovisanje čistijih goriva, primena standarda o emisiji izduvnih gasova motornih vozila i promovisanje obnovljivih izvora energije.

$PM_{2.5}$ čestice nastale tokom procesa zavarivanja predstavljaju značajan rizik po zdravlje kako zavarivača, tako i pojedinaca prisutnih u neposrednoj blizini. Ove čestice su dovoljno male da zaobiđu prirodne odbrambene mehanizme tijela i prodru duboko u respiratorni sistem, izazivajući razne zdravstvene probleme. Jedna od primarnih briga od štetnog uticaja čestica $PM_{2.5}$ je potencijal za akutne respiratorne simptome. Udisanje $PM_{2.5}$ može dovesti do iritacije respiratornog trakta, izazivajući simptome kao što su kašalj, piskanje i kratak dah. Produžena izloženost može da pogorša postojeća respiratorna stanja kao što su astma i bronhitis.

Štaviše, $PM_{2.5}$ čestice sadrže toksične supstance poput teških metala, kao što su kadmijum, nikl i olovo. Ove supstance mogu izazvati sistemske zdravstvene probleme kada se apsorbuju u krvotok. Oni su povezani sa kardio-vaskularnim problemima, uključujući povećan rizik od srčanog udara, moždanog udara, pa čak i raka pluća [4].

Zagađenje vazduha u procesu zavarivanja predstavlja značajnu zabrinutost zbog potencijalnih opasnosti po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Produžena ili ponovljena izloženost može dovesti do ozbiljnijih zdravstvenih problema, uključujući respiratorne probleme poput bronhitisa, pneumonije i profesionalne astme. Brojne studije su takođe povezale dugotrajno izlaganje isparenjima iz procesa zavarivanja sa povećanim rizikom od raka pluća i drugih respiratornih bolesti [1].

Za rešavanje problema zagađenja vazduha u procesima zavarivanja primenjuju se različite mjere kontrole. Sistemi lokalne izduvne ventilacije se obično koriste za hvatanje i uklanjanje dima nastalog u procesu zavarivanja na samom izvoru. Ovi sistemi se sastoje od hauba ili krakova postavljenih u blizini područja zavarivanja koji

omogućavaju da se isparenja izvuku pre nego što se raspršе u okolni vazduh.
Drugi pristup smanjenju zagađenja vazduha pri zavarivanju jeste primena odgovarajućih tehnika i praksi u procesu zavarivanja. Ovo uključuje korišćenje šipki ili žica za zavarivanje sa nižim emisijama koje obezbeđuju adekvatno snabdevanje zaštitnog gasa i optimizuju parametre zavarivanja kako bi se minimiziralo stvaranje isparenja. Dodatno, zavarivačima treba obezbediti ličnu zaštitnu opremu kao što su respiratorna zaštita i zaštitna odijeća kako bi se ublažila izloženost radnika štetnim isparenjima. Na taj način se negativni uticaj zagađenja vazduha pri zavarivanju može svesti na minimum, štiteći i radnike i životnu sredinu [5].

Vrste opreme za zaštitu organa za disanje:

- ***Respiratori***
  Respiratori su vitalne komponente opreme za zaštitu disajnih organa. Oni pružaju fizičku barijeru između respiratornog sistema zavarivača i opasnog okruženja. Postoje dve glavne vrste respiratora koje koriste zavarivači: respiratori za prečišćavanje vazduha i respiratori za dovod vazduha.
  Respiratori za prečišćavanje vazduha: Ovi respiratori koriste filtere za uklanjanje štetnih čestica i gasova iz vazduha pre nego što stignu do pluća zavarivača. Oni su klasifikovani u tri kategorije: respiratori za čestice, respiratori za gas/paru i kombinovani respiratori.
  Respiratori sa dovodnim vazduhom: isporučuju čist vazduh koji može da putuje od udaljenog izvora do zavarivača preko crijeva. Ovaj tip respiratora pruža viši nivo zaštite jer eliminiše potrebu za filtriranjem okolnog vazduha. Respiratori sa dovodom vazduha su posebno korisni u okruženjima sa visokim koncentracijama zagađujućih supstanci [6].

- **Kacige za zavarivanje**
  Kacige za zavarivanje su još jedan važan dio opreme za zaštitu disajnih organa za zavarivače. Pružaju zaštitu za oči, lice i respiratorni sistem. Savremeni šlemovi za zavarivanje opremljeni su sistemom za zaštitu disajnih organa koji obezbeđuje konstantan dovod čistog vazduha unutar šlema, stvarajući pozitivan pritisak kako bi se sprečio ulazak zagađujućih supstanci.

2. POSTUPAK EKSPERIMENTALNE ANALIZE

Određivanja koncentracionih nivoa suspendovanih čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ sprovedena su korišćenjem srednje zapreminskog uzorkivača vazduha Baghirra, Czech Republic.
Uređaj se sastoji iz tri osnovna dijela:

- Separacione glave, koja odstranjuje čestice veće od 10 µm.
- Duraluminijumskog držača filtera, prečnika 47 mm
- Tijela uzorkivača koje sadrži elektronsku kontrolu čitavog sistema uzorkivača uključujući mjerenja pritiska, temperature, zapreminskog protoka, pritiska usisavanja, termoregulacionu kontrolu. Sve elektronske kontrole su podesive korišćenjem touch-screen ekrana.

Prije samog procesa uzorkovanja Whatman-ov filter Ø47 suši se do konstantne mase. Nakon toga filter se mijeri na analitičkoj vagi i postavlja u držač filtera aktivnog uzorkivača vazduha. Tokom postupka uzorkovanja, vazduh radnog okruženja se provlači kroz uzorkivač, inicirano radom pumpe aktivnog uzorkivača na kom je podešen odgovarajući protok. Nakon završenog perioda uzorkovanja, uzima se filter iz uzorkivača i pod istim uslovima, kao i prije procesa uzorkovanja, suši do konstantne mase. Osušen filter se mijeri na analitičkoj vagi. Na osnovu razlike mase filtra nakon i pre postupka uzorkovanja se utvrđuje masa suspendovanih čestica koje su se zadržale na filtru. Aktivni uzorkivač, tokom rada mijeri zapreminu vazduha koja je protekla kroz uzorkivač tokom perioda uzorkovanja koja se očitava na displeju uređaja.
Masena koncentracija, odabrane kategorije suspendovanih čestica, određuje se korišćenjem izraza:

$$c = \frac{m_2 - m_1}{V} \qquad (1)$$

Gdje je:

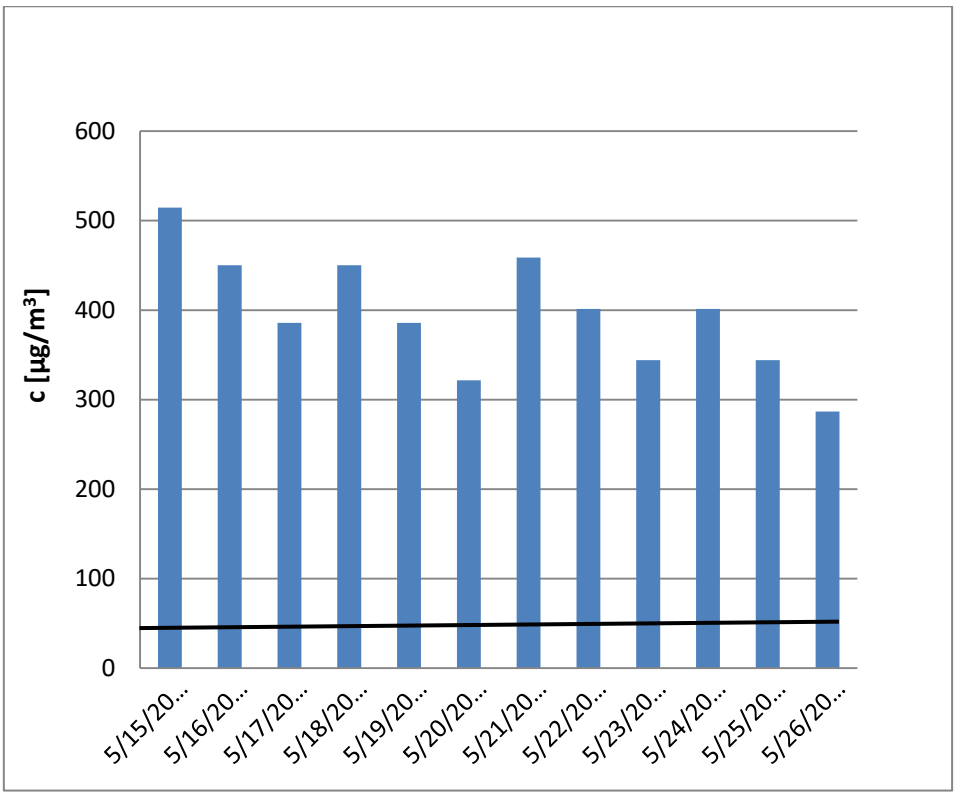
- C - masena koncentracija suspendovanih čestica ($\mu g/m^3$)
- m_2 - masa filtra nakon završenog procesa uzorkovanja (µg)
- m_1 - masa filtra pre uzorkovanja (µg)
- V - zapremina vazduha koja je protekla kroz uzorkivač tokom procesa uzorkovanja (m^3)

2.1. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio ovog master rada je sproveden u proizvodnom procesu zavarivačkog preduzeća u kom je korištena TIG zavarivačka tehnika, kao dominantna operacija u proizvodnom procesu. Eksperimentalna mjerenja su sprovedena u dvanaestodnevnom periodu od 15 do 26. maja 2023. godine.
Određivanja koncentracionih nivoa suspendovanih čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ su sprovedena tokom osmočasovnog radnog vremena postavljenjem aktivnog uzorkivača vazduha na visinu ekvivalentu zoni disanja zaposlenih radnika, negde oko 1,5 m od površine poda. Protok vazduha pumpe aktivnog uzorkivača je podešen na 15 l/min.

3. REZULTATI

Rezultati sprovedenih eksperimentalnih ispitivanja su prikazani na slici broj 1:
Rezultati pokazuju da su tokom merne kampanje koncentracije suspendovanih čestica bile u opsegu od 286,69 do 514,46 $\mu g/m^3$. To ukazuje da su koncentracioni nivoi izmereni u procesu zavarivanja često i do 20 puta veći u odnosu na propisanu vrijednost koncentracije čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ od 25 $\mu g/m^3$.



Slika 1. *Koncentracioni nivoi suspendovanih čestica iz kategorije $PM_{2,5}$*

S obzirom na visoke vrijednosti koncentracija koncentracija inhalabilnih čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ u okruženju kontaminiranom teškim metalima, možemo zaključiti da su radnici uposleni u procesu zavarivanja izloženi izuzetno visokom stepenu rizika, kada su u pitanju hemijske štetnosti.
Činjenica koju treba napomenuti je da u domaćem i međunarodnom zakonodavstvu ne postoje definisane granične vrednosti koncentracija suspendovanih čestica za radno okruženje. Stoga je važan zaključak, koji impliciraju rezultati ovog rada, isticanje potrebe za definisanjem graničnih vrijednosti suspendovanih čestica za radna okruženja različitih proizvodnih procesa.

4. DISKUSIJA

U okviru studije ispitan je štetan uticaj zavarivanja na zagađenje vazduha, posebno se fokusirajući na emisiju čestica iz kategorije $PM_{2,5}$. Istraživanje se odnosilo na negativne efekte zavarivanja kako na zavarivače, tako i na druge radnike u blizini, naglašavajući važnost rešavanja profesionalnih opasnosti povezanih sa procesima zavarivanja. Sveobuhvatno istraživanje zdravstvenih efekata zavarivanja otkrilo je potencijalne rizike i zabrinutosti za pojedince uključene u poslove zavarivanja.
Nalazi podvlače potrebu za efikasnim mjerama bezbjednosti i zdravlja na radnim mjestima zavarivanja. U okviru istraživanja su sprovedena eksperimentalna merenja čiji rezultati ukazuju da su tokom merne kampanje koncentracije suspendovanih čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ bile u opsegu od 286,69 do 514,46 µg/m^3. Što ukazuje da su koncentracioni nivoi izmereni u procesu zavarivanja često i do 20 puta veći u odnosu na propisanu vrijednost koncentracije čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ od 25 µg/m^3. S obzirom na visoke vrijednosti koncentracija inhalabilnih čestica iz kategorije $PM_{2,5}$ u okruženju kontaminiranom teškim metalima, možemo zaključiti da su radnici uposleni u procesu zavarivanja izloženi izuzetno visokom stepenu rizika, kada su u pitanju hemijske štetnosti. Činjenica koju treba napomenuti je da u domaćem i međunarodnom zakonodavstvu ne postoje definisane granične vrednosti koncentracija suspendovanih čestica za radno okruženje. Stoga je važan zaključak, koji impliciraju rezultati ovog rada, isticanje potrebe za definisanjem graničnih vrijednosti suspendovanih čestica za radna okruženja različitih proizvodnih procesa.
U ranoj fazi, ključno je uspostaviti i pridržavati se dozvoljenih granica za praškaste materije kako bi se osigurala sigurnost i dobrobit pojedinaca uključenih u procese zavarivanja. Ove dozvoljene granice služe kao smjernice i pragovi koji pomažu u ublažavanju potencijalnih zdravstvenih opasnosti povezanih sa izlaganjem praškastim supstancama. Dozvoljene granice praškastih materija se obično definišu na osnovu opsežnog istraživanja, naučnih studija i regulatornih standarda. Ove granice uzimaju u obzir različite faktore kao što su veličina čestica, sastav, toksičnost i trajanje izlaganja. Dizajnirani su da spreče ili minimiziraju štetne posljedice po zdravlje i održavaju bezbijedno radno okruženje.
Uspostavljanjem dozvoljenih granica, poslodavci i regulatorna tijela mogu postaviti smjernice za kontrolu i upravljanje izloženošću praškastim supstancama, kao što su PM_{10} i $PM_{2,5}$. Ove granice često određuju maksimalnu koncentraciju ili nivo izloženosti ovih supstanci sa kojima se pojedinci mogu bezbijedno susresti tokom svojih radnih aktivnosti. Usklađenost sa dozvoljenim granicama se obično postiže kombinacijom inženjerskih kontrola, administrativnih mijera i upotrebe lične zaštitne opreme (LZO). Inženjerske kontrole uključuju primjenu ventilaci-

onih sistema, lokalnih izduvnih sistema i drugh mehanizama za kontrolu oslobađanja i disperzije praškastih supstanci na radnom mjestu.
Administrativne mijere mogu uključivati primjenu radnih praksi, kao što je ograničavanje vremena izlaganja ili obezbeđivanje redovnih pauza, kako bi se akumulacija izloženosti svela na minimum. Pridržavajući se i poštujući vrijednosti dozvoljenih granica za praškaste materijale u ranoj fazi, poslodavci mogu stvoriti bezbijednije radno okruženje, zaštititi zdravlje svojih zaposlenih i proaktivno se baviti potencijalnim rizicima povezanim sa procesima zavarivanja.

5. ZAKLJUČAK

Aspekt bezbednosti i zdravlja na radu u zavarivanju bio je centralni fokus ovog istraživanja. Studija je istakla važnost lične zaštitne opreme (LZO) kao ključne zaštite u okruženju zavarivača. Pravilan izbor i upotreba LZO može da umanji rizike povezane sa procesima zavarivanja i doprinese opštem blagostanju radnika.
Ovaj rad je pružio dragoceni uvid u opšti koncept bezbednosti i zdravlja na radu u procesu zavarivanja, uticaj emisija na zdravlje zavarivača i neposredan uticaj štetnih emisija na okruženje. Istraživanje je naglasilo važnost davanja prioriteta zdravlju i bezbjednosti na radu u zavarivanju kroz usvajanje odgovarajuće LZO i sprovođenje efikasnih mera za minimiziranje zagađenja vazduha i ublažavanje povezanih rizika. Ova otkrića doprinose skupu znanja u oblasti zavarivanja i pružaju osnovu za dalja istraživanja i praktične primene u obezbeđivanju dobrobiti pojedinaca uključenih u aktivnosti zavarivanja.

6. LITERATURA

[1] Feng S, Gao D, Liao F, Zhou F, Wang X. The health effects of ambient PM2.5 and potential mechanisms. Ecotoxicol Environ Saf 2016. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.01.030.

[2] Schraufnagel DE. The health effects of ultrafine particles. Exp Mol Med 2020. doi:10.1038/s12276-020-0403-3.

[3] Fang SC, Cavallari JM, Eisen EA, Chen JC, Mittleman MA, Christiani DC. Vascular function, inflammation, and variations in cardiac autonomic responses to particulate matter among welders. Am J Epidemiol 2009. doi:10.1093/aje/kwn405.

[4] Chuang HC, Su TY, Chuang KJ, Hsiao TC, Lin HL, Hsu YT, et al. Pulmonary exposure to metal fume particulate matter cause sleep disturbances in shipyard welders. Environ Pollut 2018. doi:10.1016/j.envpol.2017.09.082.

[5] Golbabaei F, Khadem M. Air Pollution in Welding Processes — Assessment and Control Methods. Curr. Air Qual. Issues, 2015. doi:10.5772/59793.

[6] Chen HL, Chung SH, Jhuo ML. Efficiency of different respiratory protective devices for removal of particulate and gaseous reactive oxygen species from welding fumes. Arch Environ Occup Heal 2013. doi:10.1080/19338244.2011.650799.

Kratka biografija:

Paulina Despotović rođena je u Bijeljini 1999. god. Diplomski rad iz oblasti Inženjerstva zaštite na radu odbranila 2022. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom sadu. Završna godina master studija Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, smijer Inženjerstvo zaštite na radu.

Kontakt:
paulinadespotovic@gmail.com

Dragan Adamović, vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Osnovne studije završio je na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu 2003. godine, a od 2005. je zaposlen na Fakultetu tehničkih nauka.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 331.45
DOI: https://doi.org/10.24867/26HZ02Sasic

PROCENA RIZIKA - TEHNOLOG U PROIZVODNJI DETERDŽENATA I SREDSTAVA ZA DEZINFEKCIJU

RISK ASSESSMENT – TECHNOLOGIST IN THE PRODUCTION OF DETERGENTS AND DISINFECTION AGENTS

Una Šašić, Dragan Adamović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU

Kratak sadržaj – *U radu je prikazana procena rizika na radnom mestu tehnolog u proizvodnji detrdženata i sredstava za dezinfekciju. Analizirane su opasnosti i štetnosti sa kojima tehnolog najčešće dolazi u dodir tokom procesa rada, predložene su korektivne mere kojima bi se smanjili rizici od povreda na radu i profesionalnih bolesti. U cilju podizanja svesti i minimizacije rizika preporučene su obuke, preventivne mere kao i lična zaštitna oprema koja je neophodna ukoliko opasnost ne može ni na jedan drugi način da se izbegne.*

Ključne reči: *Tehnolog, procena rizika, lična zaštitna oprema, obuka*

Abstract – *In this paper, a risk assessment of the workplace for a technology engineer in the production of detergents and disinfection agents is presented. Hazards and harmful factors that the technologist most commonly encounters during the work process were analyzed, and corrective measures were proposed to reduce the risks of injuries at work and occupational diseases. In order to raise awareness and minimize risks, training, preventive measures, and personal protective equipment have been recommended, which are necessary if the danger cannot be avoided in any other way.*

Keywords: *Technologist, risk assessment, personal protective equipment, training*

1. UVOD

Radno mesto tehnolog u proizvodnji deterdženata i sredstava za dezinfekciju zahteva posebnu pažnju kada je u pitanju bezbednost i zaštita zdravlja na radu. Proizvodnja pomenutih hemijskih supstanci podrazumeva rukovanje različitim sirovinama, hemikalijama i opremom koja može predstavljati potencijalne rizike po zaposlene. Bezbednost i zdravlje na radu imaju ključnu ulogu u obezbeđivanju sigurnog i zdravog radnog okruženja za tehnologe koji rade u ovoj industriji. Identifikacija i upravljanje rizicima, poštovanje propisanih procedura i primena odgovarajuće zaštitne opreme ključni su faktori u prevenciji povreda, bolesti i nepoželjnih efekata na zdravlje zaposlenih [1].

U datom kontekstu, ovaj rad će se baviti analizom različitih aspekata bezbednosti i zaštite zdravlja na radu na radnom mestu tehnologa u proizvodnji deterdženata i sredstava za dezinfekciju. Biće istaknute specifične opasnosti koje mogu biti prisutne na radnom mestu, kao i neophodne preventivne mere i obuke koje treba preduzeti kako bi se smanjili rizici i osigurala dobrobit zaposlenih. Ovaj rad ima za cilj podizanje svesti o važnosti bezbednosti i zaštite zdravlja na radu, kao i pružanje smernica za uspešnu implementaciju mera i procedura koje će obezbediti siguran i zdrav radni prostor za tehnologe u proizvodnji deterdženata i sredstava za dezinfekciju.

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

2. DETERDŽENTI I SREDSTVA ZA DEZINFEKCIJU

Deterdženti se koriste za čišćenje površina i uklanjanje prljavštine, dok se sredstva za dezinfekciju koriste za uništavanje ili inhibiciju mikroorganizama kako bi se postigla dezinfekcija. U nekim slučajevima, proizvodi mogu biti kombinacija deterdženta i sredstva za dezinfekciju, što omogućava čišćenje i dezinfekciju u jednom koraku. Važno je pravilno koristiti deterdžente i sredstva za dezinfekciju u skladu sa uputstvima proizvođača, uz poštovanje bezbednosnih mera i propisane doze. Takođe, treba voditi računa o odabiru odgovarajućeg proizvoda u skladu sa namenom i vrstom površine koja se čisti ili dezinfikuje.

Neka hemijska sredstva za dezinfekciju su zapaljiva i eksplozivna. Mogu reagovati burno sa nespojivim hemikalijama i stvarati otrovne gasove. Sva hemijska sredstva za dezinfekciju su, po svojoj prirodi, potencijalno štetna ili toksična za žive organizme. Kao i druge toksične supstance, hemijska sredstva za dezinfekciju mogu biti štetna za ljude kada dospeju u organizam [2].

Deterdženti i sredstva za dezinfekciju u organizam najčešće dospevaju preko:

- Kože,
- Očiju,
- Respiratornog trakta,
- Gastrointestinalnog trakta [3].

Međutim, hemijska sredstva za dezinfekciju i deterdženti su efikasni i bezbedni alati samo kada se pravilno rukuje sa njima uz primenu bezbednosnih mera. Ako se koriste na pogrešan način, mogu biti opasni i štetni za zaposlene.

3. PROCENA RIZIKA – RADNO MESTO TEHNOLOG

Izrada ovog rada zasniva se na prikupljenim podacima u jednoj firmi čija je delatnost prizvodnja deterdženata i sredstava za dezinfekciju. U dogovoru sa poslodavcem, svi korišćeni podaci ostaće zaštićeni zbog autorskih prava

firme. Svi podaci neohodni za procenu rizika biće navedeni u narednim poglavljima.

3.1. Procena rizika

Procena rizika - predstavlja proces pregleda radnih mesta i opreme u cilju otkrivanja postojanja potencijalnih uzroka nesreća na radu, povreda, profesionalnih bolesti i bolesti u vezi sa radom.

Procenjivanje rizika vrši se prostom opservacijom, ali i složenim analizama sistema na osnovu sprovođenja anketa, periodičnih pregleda opreme, analiziranja svih incidenata itd. Analizu rizika sprovodi edukovani tim koji sprovodi zaštitu. Eliminisanje rizika pre nego što prouzrokuju neželjene efekte suština je prevencije [4]. Pravilnikom o načinu i postupku procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini ("Sl. glasnik RS", br. 72/2006, 84/2006 - ispr., 30/2010 i 102/2015) utvrđuju se način i postupak procene rizika od nastanka povreda na radu ili oštećenja zdravlja, odnosno oboljenja zaposlenog na radnom mestu i u radnoj okolini, kao i način i mere za njihovo otklanjanje, koje poslodavac uređuje aktom o proceni rizika.

Procena rizika zasniva se na analizi verovatnoće nastanka i težine moguće povrede na radu, oštećenja zdravlja ili oboljenja zaposlenog u vezi sa radom prouzrokovanih na radnom mestu i u radnoj okolini.

Procenjivanje rizika vrši se za svaku prepoznatu, odnosno utvrđenu opasnost ili štetnost, upoređivanjem sa dozvoljenim vrednostima propisanim odgovarajućim propisima u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu, tehničkim propisima, standardima i preporukama.

3.2. Metoda za procenu rizika – KINNEY

KINNEY metoda je jedna od često primenjivanih metoda kvantifikacije rizika i ona predstavlja troparametarsku metodu. U slučaju ove metode, veličina rizika se određuje na osnovu sledećeg izraza (1):

$$R = E \times P \times F \qquad (1)$$

gde je:

R – veličina rizika,

E – posledica

P – verovatnoća nastupanja povrede

F – učestalost izlaganja opasnosti ili štetnosti

Za svaki parametar je definisana skala prema KINNEY metodi (Tabela 1), kao i rangiranje rizika (Tabela 2).

Tabela 1. *Skala posledice, verovatnoće i učestalosti prema KINNEY metodi*

UČINAK-POSLEDICE - E	VEROVATNOĆA - P	UČESTALOST - F
1 - mali (male povrede bez bolovanja)	**0,1** - teško shvatljivo	**1** - retko (godišnje)
2 - znatne (medicinski tretman i bolovanje)	**0,2** - jedva pojmljivo	**2** - ponekad (mesečno)
3 - ozbiljne (povrede sa ozbiljnim posledicama, hospitalizacija, moguć invaliditet)	**0,5** - shvatljivo, ali malo verovatno	**3** - povremeno (nedeljno)
6 - veoma ozbiljne/ 1 smrtni slučaj	**1** - malo verovatno, ali moguće u nekim slučajevima	**6** - redovno (dnevno)
10 - katastrofalno – višestruki smrtni ishod	**3** - moguće	**10** - stalno – kontinualno
	6 - sasvim moguće	
	10 - predvidivo, očekivano	

Tabela 2. *Tabela rangiranja rizika prema KINNEY metodi*

RIZIK			
1	R ≤ 20	Veoma mali rizik	Prihvatljivo
2	20 < R ≤ 70	Mali rizik	Obratiti pažnju, rešiti ga redovnom procedurom – radnim uputstvom
3	70 < R ≤ 200	Umeren rizik	Primeniti mere, moraju se utvrditi odgovornosti rukovodstva
4	200 < R ≤ 400	Visoki rizik	Odmah poboljšati situaciju, potrebna brza reakcija od strane višeg rukovodstva
5	R > 400	Ekstremno visoki rizik	Zaustaviti sve radove, potrebna momentalna akcija od strane najvišeg rukovodstva

3.3. Identifikacija opasnosti i štetnosti – radno mesto tehnolog

Pre same procene rizika, neophodno je prikupiti podatke o radnom mestu, mestu rada i dužini vremenskog angažovanja, i podatke o fizičkim i psihofiziološkim zahteva radnog mesta. Nakon toga analiziraju se sve opasnosti i sve štetnosti na radnom mestu i tek onda se procenjuje koliki je rizik za identifikovane opasnosti i štetnosti. U Tabeli 3 su prikazane identifikovane opasnosti i štetnosti na radnom mestu tehnolog.

Tabela 3. *Procena rizika za identifikovane opasnosti i štetnosti*

Šifra	Prepoznati (identifikovani) rizik	Nivo rizika R=ExPxF			
		E	P	F	R
03	Unutrašnji transport u proizvodnom pogonu, kretanje viljuškara i kretanje radnih mašina ili pomeranje određene opreme za rad prilikom kretanja u proizvodnom pogonu	6	1	6	36
04	Korišćenje opasnih sredstava za rad koja mogu proizvesti eksplozije i požar – sirovine i gotovi proizvodi kojima manipuliše (visoke koncentracije finog praha)	6	3	3	54
05	Nemogućnost pravovremenog uklanjanja sa mesta rada – izloženost poklapanju i mehaničkom udaru (boravak u proizvodnom pogonu)	6	1	3	18
06	Mehaničke povrede od kancelarijskog pribora i opreme za rad prilikom obilaska proizvodnog pogona	3	1	6	18
07	Opasne površine (podovi i sve vrste gazišta, površine sa oštrim ivicama, izbočeni delovi, grube površine)	3	1	6	18
10	Mogućnost klizanja ili spoticanja prilikom kretanja u radnom prostoru	2	1	6	12
16	Opasnost od indirektnog dodira – kontaktra sa metalnim masama koje u slučaju kvara mogu doći pod napon	6	1	6	36
21	Hemijske štetnosti, prašina i dimovi (udisanje, gušenje, unošenje u organizam, prodor u telo kroz kožu, trovanje, i sl.) prilikom obilaska proizvodnog pogona, manipulacija sirovinama i materijalima	6	6	6	216
22	Fizičke štetnosti - buka koja potiče od opreme za rad u proizvodnom pogonu	3	1	3	9
24	Štetni uticaji mikroklime - visoka ili niska tempetarura, vlažnost i brzina strujanja vazduha (prilikom obilaska pogona, boravka u kancelariji, usled vožnje automobilom)	2	3	6	36
26	Štetni uticaj zračenja opreme sa ekranom	2	3	6	36
28	Štetnosti koje nastaju korišćenjem opasnih materija u proizvodnji, transportu, pakovanju, skladištenju ili uništavanju	6	6	6	216
30	Napori i telesna naprezanja – guranje, vučenje tereta (manipulacija sirovinama i gotovim proizvodima)	2	3	3	18
31	Nefiziološki položaj tela (dugotrajno sedenje)	2	3	6	36
32	Napori pri obavljanju određenih poslova koji prouzrokuju psihološka opterećenja (stres)	2	3	6	36
33	Odgovornost u primanju i prenošenju informacija, rad sa strankama, odgovornost za brze izmene radnih procedura, intenzitet u radu	2	3	6	36

3.3.1. Analiza najčešćih opasnosti i štetnosti koje mogu biti prisutne na ovom radnom mestu

Tehnolog se tokom radnog procesa nalazi u različitim delovima samog procesa i sprovodi različite radne operacije, prilikom čega je izložen različitim opasnostima i štetnostima.

Na radnom mestu tehnolog najzastupljenija opasnost je od inhaliranja različitih i često veoma toksičnih hemijskih materija. Hemijske materije koje unete u organizam u malim količinama izazivaju hemijske i fizičko- hemijske reakcije sa tkivom nazivaju se otrovima. Za ocenu otrovnosti neke materije najznačajnija je njena koncentracija u krvi, mada zbog različite biološke aktivnosti otrova, resorbovana doza ne govori uvek o stvarnoj otrovnosti neke materije.

Zbog toga je za ispitivanje prisustva hemijskih supstanci u radnoj sredini neophodno poznavanje celokupnog tehnološkog procesa. Hemijski agensi koji štetno deluju na radnike mogu biti u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju, a prema poreklu mogu biti organske i neorganske prirode [4]. Tehnolog na svom radnom mestu dolazi i u susret sa praškastim materijama. One nastaju u prirodnim procesima i u ljudskim aktivnostima, a vazduh zagađuju tako što prave mešavinu čvrstih i tečnih organskih i neorganskih čestica od prašine, dima, čađi, pepela, polena, čestica tla, u kojoj ima veoma štetnih sulfata, nitrata, ugljovodonika, teških metala (živa, kadmijum, olovo, arsen), amonijaka.

Najčešće se u analizama i monitoringu kvaliteta vazduha koriste dve kategorije. Čestice PM10 – prečnika 10μm i manje i čestice PM2.5 – prečnika 2,5μm i manje. Čestice raznih dimenzija ljudi mogu da udahnu, ali one iznad 10 mikrona ne ostaju u plućima i krvotoku, već ih organizam kroz kašljanje, kijanje ili na drugi način izbaci.

Većina stručnjaka PM10, a posebno PM2.5 čestice smatra najopasnijim zagađivačima vazduha za zdravlje ljudi. Mogu da prodru duboko u plućne prolaze i uđu u krvotok i tako izazovu kardiovaskularna, cerebrovaskularna i respiratorna oštećenja. Štetne su, takođe, i za životnu sredinu [5].

Tehnolozi u hemijskoj industriji su često izloženi opasnim i zapaljivim materijama, i kontakt sa njima može imati ozbiljne posledice po njihovo zdravlje i bezbednost, budući da hemijska industrija često radi sa materijama koje mogu podržavati procese sagorevanja. Kontakt sa zapaljivim materijama može uzrokovati hemijske opekotine na koži ili očima, što može biti veoma bolno i ozbiljno.

U najozbiljnijim slučajevima, kontakt sa opasnim hemikalijama može dovesti do gubitka ljudskih života. To se može dogoditi u slučajevima eksplozija, požara ili dugotrajne izloženosti visokim koncentracijama opasnih materija.

Tehnologa prate i ergonomski problemi. Oboljenja lokomotornog sistema se često javljaju u zanimanjima koja zahtevaju dizanje tereta posebno kada je ono udruženo sa dužim sedenjem ili ekspozicijom opštim vibracijama.

Većina oštećenja intervertebralnog diskusa u lumbalnom delu kičme vodi se pod dijagnozom lumbalni sindrom. Bolni sindrom vrata i gornjih ekstremiteta ima veze sa radom. Oštećenja su uglavnom izazvana čestim ponovljenim naprezanjem i povezana sa prisilnim i neugodnim položajem pri radu, ponavljanim radnim zadacima i aktivnostima i neadekvatnom organizacijom rada [4].

Tehnolog svoje radne zadatke obavlja i na računaru pa je potrebno provesti optimizaciju radnog mesta kako bi se smanjile opasnosti od razvoja profesionalnih bolesti, kao što su oštećenja vida, problemi sa leđima, oštećenje živaca usled svakodnevnih ponavljanja istih zadataka. To je svako radno mesto na kojem se radi duže od 4 sata dnevno. Najveća opasnost koja se javlja kod zaštite na radu pri radu na računaru jeste opasnost od neprirodnog položaja tela [6].

Kao jedan od rizika koji prate rad na računaru pominje se i zračenje koje potiče od elektromagnetnog polja radne sredine. U životnoj sredini, elektromagnetna polja električnih vodova distributivne mreže i različiti izvori EM polja visoke frekvencije (telekomunikacije, radio i TV difuzija, mobilna telefonija) čine tzv. elektromagnetni smog, čije je štetno dejstvo dokazano [7].

Buka u hemijskoj industriji može biti posledica različitih procesa i aktivnosti, uključujući rukovanje opremom, hemijske reakcije, transport materijala, i mnoge druge faktore. Ova buka može biti izvor različitih problema i rizika, kako za zaposlene, tako i za okolinu. Dugotrajna izloženost buci može dovesti do oštećenja sluha i drugih zdravstvenih problema.

Tehnolozi u hemijskoj industriji koji su izloženi visokom nivou buke mogu razviti trajni gubitak sluha ili druge probleme sa sluhom. Bučna okruženja u hemijskoj industriji mogu ometati komunikaciju među radnicima i smanjiti njihovu pažnju, što može povećati rizik od nesreća i povreda.

Pošto tehnolog svoje radne zadatke najčešće obavlja u zatvorenom prostoru izložen je štetnom uticaju loših mikroklimatskih uslova. Pod klimom jednog kraja odnosno mikroklimom ambijenata podrazumeva se skup prosečnih vrednosti fizičkih faktora u toku određenog vremena u nekom zatvorenom prostoru.

Na faktore mikroklime uglavnom utiče kvalitet veštačke klimatizacije u prostorijama i sam tehnološki proces proizvodnje. U zavisnosti od mikroklimatskih (klimatskih) uslova u radnoj sredini, zavisi i učešće pojedinih faktora termoregulacije koje poseduje čovekov organizam [4].

3.4. Ocena radnog mesta

Analizom opasnosti i štetnosti na radnom mestu u radnoj okolini i procenjivanjem rizika utvrđeno je da radno mesto TEHNOLOG JESTE radno mesto sa povećanim rizikom. Zaposlenog koji radi na radnom mestu tehnolog prilikom zasnivanja radnog odnosa treba uputiti na prethodni lekarski pregled, a periodične lekarske preglede raditi na svakih 12 meseci. Na radnom mestu tehnolog treba da koristi ličnu zaštitnu opremu koja uključuje zaštitne rukavice, čepiće za uši/antifone, zaštitne cipele sa neklizajućim đonomm, zaštitne naočare, masku za zaštitu disajnih organa, radni mantil i zaštitni vizir po potrebi. Upravljanje rizikom na prvom mestu obuhvata sprovođenje preventivnih mera kao što su eliminacija ili zamena, radi direktnog uklanjanja opasnosti na izvoru. Upotreba lične zaštitne opreme treba smatrati samo dopunskim

sredstvom ili poslednjom merom za minimiziranje izloženosti radnika opasnostima putem udisanja ili kontakta sa kožom. Sve mere bezbednosti treba dokumentovati i saopštiti zaposlenima koji su uključeni. Efikasnost ovih mera treba stalno pratiti i pregledati kako bi se osigurala adekvatnost usvojenih bezbednosnih mera [8].

4. ZAKLJUČAK

Radno mesto tehnologa u proizvodnji deterdženata i sredstava za dezinfekciju zahteva primenu adekvatnih mera bezbednosti i zaštite zdravlja na radu. Identifikovane su različite opasnosti, uključujući fizičke, hemijske, ergonomske i psihosocijalne faktore. Da bi se osigurala bezbednost i dobrobit zaposlenih, potrebno je preduzeti odgovarajuće preventivne mere.

To podrazumeva nošenje zaštitne opreme, kao što su zaštitne cipele, respiratori i zaštitna sredstva za sluh. Takođe je važno obezbediti pravilno obučavanje zaposlenih o pravilnom rukovanju i skladištenju hemijskih materija, kao i o postupanju u hitnim situacijama. Uvođenje adekvatnih sistema ventilacije i klimatizacije, kao i kontrola nivoa buke, mogu pomoći u smanjenju rizika od zagađenja vazduha, toplotnog stresa i oštećenja sluha. Takođe, ergonomske mere treba primeniti kako bi se smanjili rizici od povreda mišićno-koštanog sistema usled dizanja teških tereta ili ponavljajućih pokreta. Zdravstveni rizici kao što su izlaganje prašini i hemijskim agensima trebaju biti pažljivo kontrolisani kako bi se zaštitila respiratorna funkcija i sprečile alergijske reakcije. Pravilno obeležavanje hemikalija, pravilno čuvanje i pravilno odlaganje otpada takođe su važni aspekti bezbednosti na radu.

Kroz sve pomenute mere i obuke, tehnolozi u proizvodnji deterdženata i sredstava za dezinfekciju mogu smanjiti rizike od povreda, bolesti i nepoželjnih efekata na zdravlje. Bezbednost i zdravlje na radu treba da budu prioritetni ciljevi na radnom mestu kako bi se osigurao produktivan i bezbedan rad i okruženje za sve zaposlene.

5. LITERATURA

[1] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3299102/ (pristupljeno u junu 2023.)
[2] http://www.kozmetika.edu.rs/project/dezinfekcija/(pristupljeno u junu 2023.)
[3] xttps:// www. slideshare.net/ oliveralucic 7 / uticaj – pesticida – na – zdravlje - ljudi (pristupljeno u junu 2023.)
[4] Aranđelović M i Jovanović J, 2009. Medicina rada, Medicinski fakultet, Niš.
[5] https://balkangreenenergynews.com/rs/cist-vazduh-za-sve-lekcija-o-glavnim-zagadivacima-vazduha/ (pristupljeno u septembru 2023.)
[6] https://vatrozastita.com/zastita-na-radu-pri-radu-na-racunaru/ (pristupljeno u septembru 2023.)
[7] https:// urossima. wordpress. com/ (pristupljeno u septembru 2023.)
[8] https://www.labour.gov.hk/eng/public/os/C/Disinfectants.pdf (pristupljeno u junu 2023.)

Kratka biografija:

Una Šašić rođena je u Novom Sadu 1999. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Inženjerstvo zaštite na radu odbranila je 2023.god.
kontakt: una.sasic28@gmail.com

Dragan Adamović, vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Osnovne studije je završio na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu 2003. godine, a od 2005. je zaposlen na Fakultetu tehničkih nauka.

Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

UDK: 311.45
DOI: https://doi.org/10.24867/26HZ03Kulic

ПРОЦЕНА РИЗИКА НА РАДНИМ МЕСТИМА И У РАДНОЈ ОКОЛИНИ ОСНОВНЕ ШКОЛЕ „МАРИЈА ТРАНДАФИЛ"

RISK ASSESSMENT AT WORKPLACES AND WORKING ENVIRONMENT AT „MARIJA TRANDAFIL“ PRIMARY SCHOOL

Јелена Кулић, Маја Петровић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU

Кратак садржај: *Рад се заснива на процени ризика радних места и радне околине основне Школе „Марија Трандафил“. Идентификоване су опасности и штетности на радном месту и у радној околини, као и мере за њихово отклањање а у циљу процењивања ризика по безбедност и здравље запослених. Усвојена метода за процену ризика радних места ОШ „Марија Трандафил је KINNEY метода и процењена радна места су: директор, психолог, педагог, секретар, библиотекар, наставник, домар, хигијеничар. Анализом опасности и штетности и процењивањем ризика утврђено је да радна места ОШ „Марија Трандафил“ нису радна места са повећаним ризиком.*

Кључне речи: *процена ризика, опасности, KINNEY метода, безбедност и здравље на раду*

Abstract: *The work is based on the risk assessment of workplaces and the working environment of the primary school "Marija Trandafil", the dangers and hazards at the workplace and in the working environment were identified, as well as measures to eliminate them, with the aim of assessing the risks to the safety and health of employees. The adopted method for risk assessment of the workplaces of primary school "Marija Trandafil" is the KINNEY method, and the evaluated workplaces are director, psychologist, pedagogue, secretary, librarian, teacher, janitor, hygienist. The analysis of dangers and hazards and the risk assessment determined that the workplaces of primary school "Marija Trandafil" are not workplaces with increased risk.*

Keywords: *risk assessment, dangers, KINNEY, occupational safety and health*

1. УВОД

Последњих деценија XX века технолошки развој и модернизација су поред позитивних ефеката донели и бројне негативне последице по квалитет радне и животне средине.

Потенцијалне опасности услед исцрпљивања природних ресурса, отказа техничко технолошких система, људских и организационих грешака могу на разли чите начине да угрозе безбедност и здравље људи и радну и животну средину. Због тога је за остваривање безбедносних услова живота и рада људи, очување материјалних и природних добара процена ризика од круцијалне важности. Процена ризика има за циљ да идентификује и квантификује делатности при којима може доћи до настанка многобројних опасности и штетности у радној и животној средини. Добро изведена процена ризика пружа довољно релевантних података за процес управљања ризиком, јер са једне стране указује на стање заштите у посматраном систему, а са друге упућује на опције за тестирање ризика и на потребу унапређења система заштите радне и животне средине [1].

Предмет рада јесте процена ризика радних места и радне околине основне школе „Марија Трандафил“, односно идентификација могућих опасности и штетности на радном месту и у радној околини које би могле да угрозе запослене и ученике, као и идентификација активности и мера за елиминацију и смањење ризика на прихватљив ниво.

2. ОСНОВНЕ ТЕРМИНОЛОШКЕ ОДРЕДНИЦЕ У ВЕЗИ СА РИЗИКОМ

Ризик се може посматрати као историјска и економска категорија. Као историјска категорија, ризици су познати као чисти ризици, нераскидиво су везани за све етапе друштвеног развоја и односе се на човеково сазнање о могућој опасности. Као економска категорија, ризици су познати под називом спекулативни ризици и представљају могућност појаве догађаја који може имати позитиван или негативан утицај или може бити без икаквог утицаја на очекивани резултат. Предузимање мера усмерених на елиминисање узрока настанка и минимизацију ефекта различитих догађаја, као и мера за обезбеђење минималних губитака и за отклањање последица уколико дође до реализације различитих догађаја, чини основ управљања ризиком [2].

2.1 Појам, дефиниције и класификације ризика

У савременој научној литератури присутни су различити типови ризика који се карактеришу одређеним специфичностима, а то су [3]:

- ризик који се односи на угрожавање безбедности,
- ризик који се односи на угрожавање здравља,
- ризик који се односи на угрожавање животне средине,

НАПОМЕНА:
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Маја Петровић, ванр. проф.

- ризик који се односи на угрожавање друштвеног благостања.

2.2 Управљање ризиком - приступи и одреднице

Процес управљања ризиком укључује четри фазе [4]:

- Идентификацију ризика, тј. сазнање да одлуке и догађаји могу да доведу до појаве различитих ситуација које могу изазвати штетне последице;
- Анализу и процену ризика, тј. сакупљање и проучавање података у циљу предузимања одговарајућих мера;
- Дефинисање противмера и развијање стратешког плана оперативних тактика за смањење ризика тако да обезбеде управљање и контролу ризика на прихватљив начин;
- Контролу ризика и вођење документације, тј. надзирање догађаја или ситуација и предузетих противмера.

2.3 Методе процене ризика

Процена ризика се може дефинисати као веома субјективан процес. Међутим праћењем одређених принципа, субјективност се може смањити на најмањи могући ниво.

Према Закону о безбедности и здрављу на раду („Сл.гласник РС“, бр. 35/2023), процена ризика јесте систематско евидентирање и процењивање свих фактора у процесу рада који могу узроковати настанак повреда на раду, обољења или оштећења здравља и утврђивање могућности, односно начина спречавања, отклањања или смањења ризика [5].

У зависности од критеријума за процену ризика све методе које се примењују у области безбедности и здравља на раду можемо поделити на [6]: квалитативне, полуквалитативне (комбиноване) и квантитативне.

2.4 Квалитативне методе процене ризика

Квалитативне методе за процену ризика се заснивају на коришћењу расположивих квалитативних или нумеричких података.

Овакав приступ не захтева податке претходним штетним догађајима, узроцима и последицама, али условљава да крајњи резултат процене ризика буде описно, квалитативно исказана величина ризика (нпр. висок ризик, умерен ризик). Квалитативни критеријуми користе реч ретко, невероватно, могуће, вероватно или скоро сигурно како би се описала вероватноћа појаве нежељеног догађаја и речи кобне, озбиљне, мале или занемарљиве како би се описала величина последице.

У квалитативним методама за процену ризика најчешће се користе субјективни критеријуми, који се мере у квалитативним скалама [7].

2.5 Полуквантитативне (комбиноване) методе за процену ризика

Полуквантитативне методе за процену ризика имају у пракси широку примену, јер често није могуће проценити вероватноћу настанка нежељеног догађаја и величину последице. Квалитативне скале са одређеним бројевима квалитативних описа за вероватноћу и последицу су основ за процену мера ризика, које се најчешће одређују као производ нивоа рангирања вероватноће и потенцијалних штетних ефеката. Свакој одређеној квантитативној мери ризика придружује се квалитативно тумачење, односно квалитативни опис и одговарајући ранг [8].

Постоје три приступа процене ризика код полуквантитативних метода и то:

- матрична метода процене ризика (заснована је на комбинацији формирања матрица и табела),
- табеларна метода процене ризика (заснована је на формирању табела од свих елемената за процену ризика, као и самог ризика) и
- графичка метода процене ризика.

3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Послодавци користе законе, правилнике и интерне процедуре како би проценили ризике на радном месту и увели одговарајуће мере заштите. Циљ ових мера је елиминација или смањење опасности и штетности како би се спречиле повреде и појава болести запослених.

Процена ризика реализована у оквиру овог истраживања заснива се на систематском евидентирању и процењивању свих фактора у процесу рада, могућих врста опасности и штетности на радном месту и у радној околини које могу да проузрокују повреду на раду, оштећење здравља или обољење запосленог. Проценом ризика анализирани су организација рада, радни процеси, средства за рад, сировине и материјали који се користе у радним процесима, средства и опрема за личну заштиту на раду, као и елементи који могу да изазову ризик од повреда на раду, оштећења здравља или обољења запосленог.

У основној школи „Марија Трандафил“ не врше се периодична испитивања средстава за рад од стране стручних организација јер се ради искључиво о канцеларијским средствима која не подлежу периодичним прегледима. У претходном периоду у школи није било повреда на раду.

За свако радно место процењене су потенцијалне опасности и штетности, узимајући у обзир опис задатака, коришћену опрему, као и материјале и сировине које се користе у радном процесу.

Информације о потенцијалним опасностима и штетностима су сакупљене кроз интервјуе са запосленима и директним посматрањем радних активности. Ове информације су потом упоређене са референтним списковима опасности и штетености, како је наведено у члановима 8. и 9. Правилника о процени ризика на радном месту и радној околини („Службени гласник РС“, бр. 72/2006, 84/2006 - исправка, 30/2010 и 102/2015).

3.1 *KINNEY* метода

KINNEY метода посматра ризик као комбинацију опасности и потенцијалне штете. Због тога је, препознавањем и идентификацијом могућих опасности и штетности, могуће дефинисати и уочити потенцијалне ризике у контексту безбедности и здравља на раду.

Израчунавање ризика на радним местима у основној школи „Марија Трандафил“, реализовано је на основу обрасца: **P= B x У x П,** где је [1]:

B - вероватноћа повређивања/обољења;

У - учесталост и време излагања опасностима

П – последица, односно тежина могуће повреде или обољења.

Табела 1. *Вероватноћа повређивања*

B – Вероватноћа повређивања/обољења		
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. *Учесталост излагања опасностима*

У – Учесталост излагања опасностима/штетностима		
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. *Последица могуће повреде или обољења*

П – Последица могуће повреде или обољења		
Ранг	**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	Озбиљна – инвалидност, појединачна озбиљна повреда са хоспитализацијом и изгубљеним данима	3
4	Веома озбиљна – појединачна несрећа са смртним исходом	6
5	Катастрофална – вишеструки смртни исход	10

Ризици I и II представљају прихватљиве ризике, односно ризике на радним местима за која се утврђује да нису радна места са повећаним ризиком. Степен III сматра се граничном вредношћу и ризик је допуштен уколико се предложеним мерама безбедности и здравља на раду може свести на прихватљив ниво, а нивои ризика IV и V представљају неприхватљиве ризике, односно карактеришу она радна места која се актом о процени ризика проглашавају радним местима са повећаним ризиком.

Табела 4. *Ниво/ранг ризика*

Укупна оцена	**Ниво ризика**	**Класификација нивоа ризика**
P ≤ 20	P (I)	**Занемарљиво мали ризик**
20 < P ≤ 70	P (II)	**Мали ризик**
70 < P ≤ 200	P (III)	**Средњи ризик**
200 < P ≤ 400	P (IV)	**Високи ризик**
P > 400	P (V)	**Екстремно високи ризик**

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

4.1 Резултати процене ризика применом KINNEY методе

Резултати процене ризика применом *KINNEY* методе за радна места директор, психолог, педагог, секретар, библиотекар, наставник, домар, хигијеничар указују на то да та радна места нису са повећаним ризиком.

Проценом ризика радног места директор, идентификоване шифре опасности и штетности за које је израчунат средњи ниво ризика су 06, 29, 32, 33, долазак на посао/одлазак са посла, употреба опреме са екраном, стрес приликом рада са ученицима и сарадњом са родитељима и одговорност у руковођењу школе, респективно.

Проценом ризика радног места секретар, идентификоване шифре опасности и штетности за које је израчунат средњи ниво ризика су 06, 29, 32, 33, долазак на посао/одлазак са посла, употреба опреме са екраном, стрес приликом рада и одговорност у раду при обављању одређених послова, респективно.

Проценом ризика радних места психолог и педагог, идентификоване шифре опасности и штетности за које је процењен средњи ниво ризика су 06, 29, 32,33, долазак на посао/одлазак са посла, одговорност у раду са ученицима, стрес приликом рада са ученицима, респективно.

Проценом ризика радног места библиотекар, идентификоване шифре опасности и штетности за које је процењен средњи ниво ризика су 06, 33, 35, долазак на посао/одлазак са посла, одговорност у раду са ученицима, комуникација са великим бројем ученика, респективно.

Проценом ризика радног места наставник, идентификоване шифре опасности и штетности за које је процењен средњи ниво ризика су 06, 29, 32,33, долазак на посао/одлазак са посла, одговорност у раду са ученицима, стрес приликом рада са ученицима и коришћење одговарајућег знања и способности, респективно.

Проценом ризика радног места домар, идентификоване шифре опасности и штетности за које је процењен средњи и мали ниво ризика су 06, 31, 32,33, долазак на посао/одлазак са посла, неправилан положај тела, приликом стајања, сагињања и клечања, стрес приликом рада, интензитет у раду, респективно.

Проценом ризика радног места хигијеничар, идентификоване шифре опасности и штетности за које је процењен средњи и мали ниво ризика су 06, 31, 32,33, долазак на посао/одлазак са посла, неправилан положај тела, приликом стајања, сагињања и клечања, стрес приликом рада, интензитет у раду, респективно.

5. ЗАКЉУЧАК

Анализом опасности и штетности и процењивањем ризика утврђено је да радна места директор, психолог, педагог, секретар, библиотекар, наставник, домар и хигијеничар у основној школи „Марија Трандафил“ нису радна места са повећаним ризиком.

Узимајући у обзир утврђени ниво ризика за изабрана радна места препоручене су мере за управљање ризиком на радном месту и у радној околини:

- Запослене периодично обучавати за безбедан и здрав рад у интервалу не дужем од три године.
- Обратити пажњу на здравствене проблеме запослених, а поготово у вези са скелетно мишићним проблемима. У случају појаве професионалног обољења или болести у вези са радом консултовати медицину рада о мерама које је неопходно предузети ради заштите здравља запослених.
- Запослене који раде дуже од половине радног времена са опремом за рад са екраном слати на офталмолошки преглед, у временском интервалу не дужем од 3 године.
- Сервисирање противпожарних апарата и хидрантске мреже на сваких шест месеци.
- У сврху пружања прве помоћи, руководиоци морају бити обучени, као и најмање 2% укупног броја радника у једној смени. Ова обука може бити основна или напредна, у зависности од оцењеног нивоа ризика. Неопходно је гарантовати да у свакој смени постоји најмање један радник са завршеном основном обуком за пружање прве помоћи. Обнова обуке треба да се изврши најмање сваких пет година.
- Најмање једанпут у 3 године прегледати комплетну електро инсталацију и уземљење у објектима са аспекта безбедног коришћења.
- Сваке три године, током лета и зиме, обавезно спровести проверу услова радног простора.
- Редовно контролисати примену прописаних мера за смањење ризика.

6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Гроздовић, М., Стојиљковић Е. (2010). *Методе процене ризика*, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш.
[2] Vladimirov, V.A. *Upravlenie riskom*, Moskva.
[3] Rahmetova (2008). *Понятие и правовая сущность экологического риска. Казахстан*, Казахстанский институт юриспруденции и Казахский гуманитарно-юридический университет.
[4] Стамболић, М. (2005). *Сигурносни инструментални системи у процесној индустрији*, Београд.
[5] Закон о безбедности и здрављу на раду ("Сл. гласник RS",br.35/2023).
[6] Гемовић, Б. (2015). *Методологије за спровођење поступка процене ризика*, Доктроска дисертација, Универзитет у Београду.
[7] Тепић, Г. (2019). *Развој методолошког концепта за управљање ризиком у систему опасних материја*, Докторска дисертација, Нови Сад, Факултет техничких наука.
[8] Киш, Д. (2002). *Знаственi приступ анализи ризика радног мјеста у процјени опасности*, Rad Sigur., 235-253.
[9] Правилник о начину и поступку процене ризика на радном месту и радној околини ("Сл. гласник РС", бр. 72/2006, 84/2006 - испр., 30/2010 і 102/2015).

ЗАХВАЛНИЦА

Аутори се захваљују запосленима у основној школи „Марија Трандафил“ за учествовање у истраживању које је део процеса израде овог рада.

Кратка биографија:

Јелена Кулић рођена је у Зрењанину 1996. године. Дипломски рад из области инжењерство заштите животне средине на тему Процена утицаја на животну средину на примеру Петроварадинска ада, одбранила је 2019. године.
Контакт: kulicjecaa@gmail.com

Маја Петровић рођена је у Вршцу 1980. године. Докторирала је на Факултету техничких наука, а од 2023. године налази се у звању ванредног професора. Области интересовања су јој одрживо управљање безбедношћу и здрављем на раду и заштитом животне средине.

U realizaciji Zbornika radova Fakulteta tehničkih nauka u toku 2023. godine učestvovali su sledeći recenzenti:

Aco Antić
Aleksandar Anđelković
Aleksandar Kovačević
Aleksandar Kupusinac
Aleksandar Selakov
Aleksandra Radulović
Aleksandra Pešterac
Ana Nešić Tomašević
Andraš Anderla
Andrija Rašeta
Atila Zelić
Bojan Batinić
Bojan Matić
Bojan Tepavčević
Bojan Jovanović
Boris Agarski
Boris Stojić
Branko Milosavljević
Damir Đaković
Danijela Ćirić
Danijela Gračanin
Danijela Lalić
Darko Čapko
Darko Stefanović
Dejan Ecet
Dejan Reljić
Dejan Movrin
Dejan Ubavin
Dejana Nedučin
Dragan Adamović
Dragan Dinu
Dragan Ivanović
Dragan Ivetić
Dragan Jovanović
Dragan Pejić
Dragan Ružić
Dragana Konstantinović
Dragoljub Šević
Drago Žarković
Dunja Vrbaški
Đorđe Vukelić
Goran Jeftenić
Goran Savić
Goran Sladić
Goran Stojanović
Goran Tepić
Gordan Stojić
Gordana Ostojić
Gordana Milosavljević
Igor Dejanović
Igor Maraš
Igor Peško
Ilija Bašićević
Iva Šiđanin
Ivan Mezei
Ivan Prokić
Ivana Mihajlović
Ivana Vasiljević
Ivana Katić
Ivana Maraš
Ivana Miškeljin
Jelena Atanacković Jeličić
Jelena Borocki
Jelena Ivetić
Jelena Radonić
Jelena Slivka
Jelena Spajić
Kalman Babković
Lazar Kovačević
Lidija Krstanović
Ljiljana Popović
Ljubica Duđak
Ljubo Nedović
Ljubomir Budinski
Magdolna Pal
Maja Turk Sekulić
Maja Petrović
Marija Silađi
Marinko Maslarić
Marko Marković
Marko Todorov
Marko Vekić
Maša Bukurov
Mijodrag Milošević
Milan Delić
Milan Gavrić
Milan Marinković
Milan Mirković
Milan Rapajić
Milan Rackov
Milan Segedinac
Milan Trivunić
Milan Vidaković
Milena Krklješ
Milica Vračarić
Milica Miličić
Milica Kisić
Miloš Simić
Miloš Šešlija
Milovan Lazarević
Milja Simeunović
Miljana Prica
Miodrag Milutinov
Miodrag Žigić
Miroslav Dramićanin
Miroslav Zarić
Mirko Raković
Miro Govedarica
Miroslav Kljajić
Miroslav Zarić
Mladen Tomić
Mladen Radišić
Nataša Milosavljević
Nebojša Brkljač
Nebojša Radović
Nebojša Ralević
Neda Milić Keresteš
Nemanja Kašiković
Nemanja Sremčev
Nemanja Tasić
Nenad Simeunović
Nikola Vojnović
Platon Sovilj
Predrag Teodorović
Radivoje Dinulović
Radomir Kojić
Romana Bošković-Živanović
Sandra Dedijer
Saša Medić
Slavica Mitrović
Senka Bajić
Slađana Milićević
Slobodan Morača
Slobodan Šupić
Slobodan Tabaković
Srđan Popov
Srđan Vukmirović
Stevan Gostojić
Stevan Milisavljević
Stevan Stankovski
Suzana Draganić
Svetlana Bačkalić
Svetlana Nikoličić
Tamara Škorić
Teodora Vučković
Vesna Stojaković
Višnja Žugić
Vladimir Đaković
Vladimir Mučenski
Vojin Ilić
Vuk Bogdanović
Vuk Vranjkovic
Zoran Brujić
Zoran Čepić
Zoran Jeličić
Željen Trpovski
Željko Kanović