



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗБОРНИК РАДОВА ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Едиција: Техничке науке – зборници
Година: ХЛІ
Број: 5/2026

Нови Сад

Едиција: „Техничке науке – Зборници“
Година: *XLI* Свеска: 5
Издавач: Факултет техничких наука Нови Сад

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

Уређивачки одбор

Проф. др Марко Векић, главни уредник
Сара Копривица, заменик главног уредника

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

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

СР-Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

378.9(497.113)(082)
62

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

Месечно

ISSN 0350-428X

COBISS.SR-ID 58627591

ОБЛАСТИ (СТУДИЈСКИ ПРОГРАМИ)

У свесци са редним бројем 5 објављени су радови из следећих области (студијских програма):

- Енергетика и процесна техника
- Техничка механика и дизајн у техници
- Грађевинарство
- Инжењерски менаџмент

ПРЕДГОВОР

Поштовани читаоци,

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

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

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

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

Зборник излази у два облика – електронском на веб-страници Факултета техничких наука (www.ftn.uns.ac.rs) и штампаном, који је пред вама. Обе верзије публикују се сваки месец, у оквиру промоције дипломираних мастера.

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

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

„Високо место у друштву најбољих“

Уредништво

Садржај

ЕНЕРГЕТИКА И ПРОЦЕСНА ТЕХНИКА

- Теодора Рашковић, Игор Мујан
**ОДРЖАВАЊЕ КВАЛИТЕТА УНУТРАШЊЕ СРЕДИНЕ У
ПРОСТОРИЈАМА СА 3D ШТАМПАЊЕМ НА БАЗИ СМОЛА И UV
ИЗВОРА – ЕМИСИЈЕ VOC И СТРАТЕГИЈЕ ВЕНТИЛАЦИЈЕ** 627-630

ТЕХНИЧКА МЕХАНИКА И ДИЗАЈН У ТЕХНИЦИ

- Ивана Степанић
**ПРИМЕНА ЗЕНЕРОВОГ МОДЕЛА ВИСКОЕЛАСТИЧНОГ ТЕЛА У
АНАЛИЗИ ОСЛАЊАЊА СЕДИШТА** 631-634
- Андреј Личанин
**ИЗРАДА СОФТВЕРСКЕ АПЛИКАЦИЈЕ ЗА МОДАЛНУ АНАЛИЗУ
Н-СПРАТНЕ РАМСКЕ КОНСТРУКЦИЈЕ** 635-638

ГРАЂЕВИНАРСТВО

- Марко Шапурић
ТЕХНОЛОГИЈА И ОРГАНИЗАЦИЈА ГРАЂЕЊА ПОДВОЖЊАКА 639-643
- Зоран Петковић
**АНАЛИЗА ЕКОНОМИЧНОСТИ ПРОЈЕКТОВАЊА СПРЕГНУТЕ
КОНСТРУКЦИЈЕ СА ЛАКО-АГРЕГАТНИМ БЕТОНОМ ЗА
ТРЖИШТЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ** 644-647
- Јована Лековић
**ПРОЦЕНА СТАЊА И ЕНЕРГЕТСКА САНАЦИЈА ДОМ КУЛТУРЕ У
ЗМАЈЕВУ** 648-651
- Драгана Бркић
**ИДЕЈНО РЕШЕЊЕ НАВОДЊАВАЊА ПОЉОПРИВРЕДНОГ
ЗЕМЉИШТА „АГРОЛИКА“ БАЧКИ ГРАЧАЦ** 652-655
- Марко Баковић
**УТИЦАЈ ВИМ ТЕХНОЛОГИЈЕ НА СМАЊЕЊЕ РИЗИКА ОД
ПОВРЕДА НА РАДУ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ** 656-658
- Драган Икановић, Владимир Мученски
**ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ: УЛОГА
ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ И САВРЕМЕНИХ ТЕХНОЛОГИЈА
У УНАПРЕЂЕЊУ ПРОДУКТИВНОСТИ КРОЗ ПРОЈЕКТОВАЊЕ,
ИЗВОЂЕЊЕ И ОДРЖАВАЊЕ ОБЈЕКТА** 659-663
- Дарко Бошковић
**НЕЛИНЕАРНА СТАТИЧКА АНАЛИЗА ЗИДАНЕ ЗГРАДЕ
СПРАТНОСТИ П+5 У НОВОМ САДУ** 664-667
- Милан Туфегџић
ЗАШТИТА НАСЕЉА ЗАЛУГ ОД ВЕЛИКИХ ВОДА РЕКЕ ЛИМ 668-671

Андреја Николић
УРЕЂЕЊЕ РЕКЕ ШТИРЕ УЗВОДНО ОД ПОСТОЈЕЋЕ РЕГУЛАЦИЈЕ 672-675

Никола Јовановић
**ПРИМЕНА РЕЦИКЛИРАНОГ БЕТОНА У ПРЕФАБРИКОВАНИМ
ГРАЂЕВИНСКИМ ЕЛЕМЕНТИМА** 676-679

Стефан Мандић
**ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА *VIM-a* У ФАЗИ ИЗВОЂЕЊА РАДОВА
ПРИМЕНОМ АР ТЕХНОЛОГИЈА** 680-683

ИНЖЕЊЕРСКИ МЕНАЏМЕНТ

Тамара Барић
РЕШАВАЊЕ КОНФЛИКАТА У КОМПАНИЈИ БЕБА&БЕБА ДОО 684-687

Данијела Штрбац
**ИНТЕГРИСАНИ ПРИСТУП МАРКЕТИНГУ ДОГАЂАЈА:
АНАТОМИЈА УСПЕХА 2025** 688-691

Жељана Ребић
**СПЕЦИФИЧНОСТИ УПРАВЉАЊА ПРОЈЕКТИМА У
САВРЕМЕНОМ ГЛОБАЛНОМ ОКРУЖЕЊУ** 692-695

Јелена Деспић
РЕЛОКАЦИЈА РАФИНЕРИЈЕ НАФТЕ НОВИ САД 696-699



Одржавање квалитета унутрашње средине у просторијама са 3D штампањем на бази смола и UV извора – емисије VOC и стратегије вентилације

Maintaining Indoor Environmental Quality in Rooms with Resin-Based and UV 3D Printing – VOC Emissions and Ventilation Strategies

Теодора Рашковић, Игор Мујан, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ЕНЕРГЕТИКА И ПРОЦЕНА ТЕХНИКА

Кратак садржај – У уводном делу, на основу претходних студија и вредности добијених експериментима, усвајају се концентрације органских испарљивих једињења, након чега се врши упоредна анализа са резултатима изведеног експеримента. Истраживање је спроведено у школској учионици у којој се налазе три mSLA штампача. Циљ рада је сагледавање утицаја услова очвршћавања на својства и квалитет ваздуха у просторији.

Приликом извођења експеримента коришћени су сензори SEN55 и SCD41 ради мерења концентрација загађујућих материја. У закључку су дате препоруке и мере за унапређење квалитета ваздуха у просторији, као и правци даљих истраживања.

Кључне речи: адитивна производња, стереолитографија, органска испарљива једињења

Abstract – In the introductory part, based on previous studies and values obtained through experiments, concentrations of volatile organic compounds are adopted, followed by a comparative analysis with the results of the conducted experiment. The study focuses on a school classroom equipped with three mSLA printers. The aim of the research is to summarize the curing conditions and their impact on the properties and air quality within the room. During the experiment, SEN55 and SCD41 sensors were used to measure pollution concentrations. The conclusion provides recommendations and measures for establishing and maintaining air quality in the room, as well as directions for future research.

Keywords: additive manufacturing, stereolithography, volatile organic compounds

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада, чији ментор је био др Игор Мујан, доцент

1. УВОД

У даљој еволуцији производног сектора, као једна од перспективних технологија јавља се адитивна производња, која се развија већ неколико деценија.

Студијом је процењен утицај нискоемисионих 3D штампача и материјала на квалитет унутрашњег ваздуха у образовним просторијама које првобитно нису пројектоване за изворе емисија попут оних са 3D штампача.

У објектима овог типа изложеност хемикалијама и честицама које задовољавају критеријуме заштите и здравља на раду обично премашује нивое прихватљиве за кориснике, јер је изложеност често дужа и укључује мешавине многих загађујућих материја.

VOC (испарљива органска једињења) у затвореном простору достижу вредности које су два до пет пута више од оних у спољашњем ваздуху. Предложени аналитички модел је експериментално доказан.

2. ЕМИСИЈЕ ИЗ АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ

Процес адитивне производње представља значајан извор емисија испарљивих органских једињења и честице различитих величина. Концентрације и врсте емитованих једињења зависе од типа материјала, температуре процеса и затворености простора у којем се изводи штампање [1].

Честице у ваздуху могу бити чврсте или течне, најчешће у облику прашине, дима, магле или испарења. Величина честице има кључан утицај на здравље. Честице мање од 10 μm могу доспети до доњег респираторног тракта, док наночестице (<100 nm) могу доспети у крвоток [2].

Још један значајан загађивач који се емитује током адитивне производње јесте формалдехид (CH₂O). Он настаје као секундарни производ термичке оксидације органских материјала, посебно полимера који садрже метилне и метиленске групе. Формалдехид је безбојан гас оштрог мириса и један од најпознатијих канцерогена у унутрашњем ваздуху. Изложеност чак и малим концентрацијама (0,1 ppm) може изазвати иритацију очију и слузокоже, док хронична изложеност доводи до оштећења плућног ткива и повећаног ризика од појаве карцинома носне шупљине и грла [3].

Испарљива органска једињења (VOC) имају тачке кључања у опсегу од 50 °C до 250 °C и притиске испаравања од 0,1 Pa до 0,01 Pa. Материјали као што су полимери и смоле првенствено апсорбују, а затим реемитују органска испарљива једињења [4].

3. 3D ШТАМПА

За разлику од уобичајених конвенционалних метода, које подразумевају уклањање материјала са већег блока, 3D штампа функционише адитивно, градећи објекат у слојевима.

Овакав приступ минимизује отпад [5].

Врста материјала која се користи, дизајн слојева и њихово повезивање указују на главне разлике између уређаја за адитивну производњу.

Према агрегатном стању материјала, који може бити у чврстом или течном облику, разликују се поједине врсте адитивних технологија. Стереолитографија (SLA), која ће бити опширније обрађена, селективно ласерско синтеровање (SLS), очвршћавање дигитално обрађеним светлосним сигналом (PolyJet) и производња термопластичним филаментом (FDM) [6]. Током процеса штампе, из течних фотополимера могу се ослобађати испарљива органска једињења (VOC) [4].

Полиакрилна смола, која се користи у процесу стереолитографије, представља фотополимер који прелази из течног у чврсто стање при излагању светлости таласне дужине 405 nm.

За потребе штампања примењује се mSLA (UV LCD) технологија, која као основну сировину користи течну смолу Creality 3D Printer UV Sensitive Resin и LCD екран са UV светлом [7].

4. ПРЕТХОДНЕ СТУДИЈЕ

Приликом израде овог рада и спровођења истраживања на ову тему, дошло се до сазнања да су истраживања емисија насталих активним деловањем адитивне производње релативно оскудна. Ова појава је вероватно последица веће заступљености ове врсте производње у неиндустријским срединама.

Емисије и нуспроизводи процеса који се најчешће помињу у литератури јесу испарљива органска једињења, прашкасте материје, формалдехиди, алкохоли и оксидујући гасови.

4.1. Експеримент из литературе релевантан за истраживање теме

Поступак експеримента у литератури је изведен у етапама на следећи начин: У првој фази се мери концентрација TVOC-а када машина није у раду. Друга фаза се бави мерењем током процеса адитивне производње. Трећа фаза анализираног експеримента укључује мерење након обраде.

Просечне концентрације TVOC-а за три фазе су 122,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.052,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ и 1.774,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, респективно, а укупан просек је 1.034,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [8].

5. УТИЦАЈ 3D ШТАМПЕ НА ЉУДСКО ЗДРАВЉЕ И ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Рад ових уређаја у затвореним просторима може имати утицај на квалитет ваздуха и здравље људи који се у том простору налазе. Процес штампе, нарочито код технологија као што су FDM (fused deposition modeling) и SLA (stereolithography), може ослобађати

ултрафине честице (UFPs) и испарљива органска једињења [12].

Ултрафине честице су микроскопске честице пречника мањег од 100 nm. Због своје величине, ове честице могу лако продрићи дубоко у плућа и друге делове респираторног система. Количина и врста честица које се емитују зависи од материјала који се користи.

Поред честица, током процеса 3D штампе долази и до ослобађања формалдехида и оксидујућих гасова. Када је реч о VOC, мора се назначити да ова једињења могу довести до иритације очију и хроничних здравствених ефеката.

Развој и широка доступност desktop 3D штампача отворили су нове могућности у образовању, истраживању и малим производним процесима. Ипак, повећан број уређаја у школама, предузећима и домаћинствима доводи до раста укупне потрошње енергије. Сваки појединачни штампач можда не троши значајну количину струје, али њихов укупан број и учестала употреба имају приметан еколошки утицај.

Већина отпада из ових процеса завршава на депонијама или у воденим токовима, где се не разграђује у потпуности и може представљати ризик за животну средину [11].

Поред потенцијално негативних утицаја на људско здравље, VOC се такође могу емитовати у атмосферу и контаминирати ваздух због својих ниских тачака кључања. Такође, утврђено је да су испарљива органска једињења кључни прекурсори формирања озона при тлу и PM честица, које доприносе стварању фотохемијског смога и доводе до озбиљног загађења ваздуха и еколошких проблема.

Стога, због опасних ефеката по здравље и еколошки живот, потребно је проценити емисије и могуће негативне ефекте [8].

5.1. Мере опреза

Штампа полимеризацијом користи течну фотополимерну смолу која садржи везива, мономере и фотоинцијаторе. Везива могу укључити имуне сензибилизаторе попут акрилата, а фотоинцијатори могу садржати тешке метале. Неопходна је употреба једнократних нитрилних рукавица. Ова једињења се емитују из течне смоле током њихове употребе [10].

Заштитне блокаде и заштитни UV поклопац морају бити на свом месту током рада. Када се ради одржавања уклања поклопац, морају се носити заштитне UV наочаре.

Да би се смањила изложеност, рад треба преместити на места где се налази најмањи број људи у директној линији светлости. На изложеност људи, количину и време задржавања загађења утичу величина простора, врста вентилације, смер струјања ваздуха, као и положај штампача [5].

Препорука је такође вентилација простора и употреба НЕРА филтера.

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО МЕРЕЊЕ У ЛАБОРАТОРИЈИ

Помоћу преносивих сензора, SEN55, SCD41, Factory Calibrated Electrochemical Alcohol Sensor (0–5 ppm) и НСНО сензор (SEN0231) праћене су концентрације

честица и испарљивих једињења у реалном времену. Подаци су снимани на SD картицу како би лакше могли да се обраде у Excel окружењу.

Табела 1. Сензори и једињења чије присуство бележе

Сензор	Бележење
SEN55	Темп., RH, PM., TVOC, оксидујућих гасова
SCD41	Темп., RH, CO ₂
SEN0376	Присуство алкохола у ваздуху
SEN0231	HCHO, CH ₂ O

У Табели 1. су приказани сензори коришћени за спровођење експеримента [13, 14, 15, 16].

6.1. Опис експеримента

Услови у учионици и распоред нису мењани, прозори и врата су били затворени како би се смањило утицај спољашњих извора. Мерења су вршена у близини штампача. Дистрибуције су снимане и осредњаване на 1 минут. На слици 1, приказана је учионица са 3D штампачима (а) и мерна станица (б).



Слика 1. Поставка експеримента (а) и мерна станица (б)

Током извођења експеримента забележене су концентрације за фазу припреме, процес штампања и пост-процес. Започет је у 8.45 часова, извршена су мерења концентрација акумулираних у просторији док штампачи нису у раду. Затим је уследила припрема штампача, која је подразумевала употребу алкохола ради уклањања вишка течне смоле са делова за штампу, сипање процеђене течне смоле. Овај процес за сва три штампача није трајао дуго.

Сама штампа је трајала 42 минута за сва три модела и започета је у 9.20 часова. Штампачи су били затворени током процеса.

У фазу након штампе, односно само одвајање и очвршћавање модела, укључено је и прање, као и скидање потпорне структуре. Време потребно за прање сва три модела било је 5 минута, након чега су модели остављени да се додатно осуше и стврдну на прозору. На слици 2 је приказан поступак уклањања модела из штампача.



Слика 2. Завршетак штампања и уклањање модела

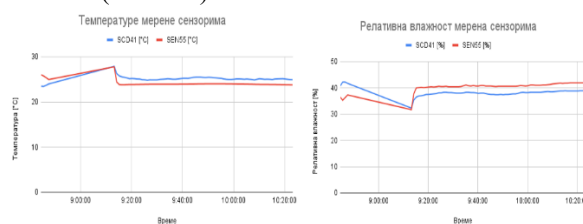
Експеримент, односно период бележења, завршен је у 10.20 часова. Мерење је могло да се настави још неко време, али су мириси од штампе били доста

интензивни. Ово је било и очекивано, с обзиром на то да су током овог периода производње прозори и врата били затворени како би се остварили стабилни услови.

6.2. Резултати мерења

Упркос заступљености више врста технологија 3D штампе, за потребе рада и спровођење самог експеримента коришћени су Anycubic Photon S (SLA штампачи) који као главну сировину користе фотополимерну смолу Creality 3D Printer UV Sensitive Resin. Употребом опреме за мерење – SEN55, SCD41, Factory Calibrated Electrochemical Alcohol Sensor (0–5 ppm) и HCHO сензор (SEN0231) – праћене су концентрације честица и испарљивих једињења у реалном времену. Након извршеног експеримента, подаци су обрађени и приказани у наставку.

Измерена релативна влажност, температура и емисије CO₂ су уједначене, што имплицира да су услови стабилни (Слика 3).



Слика 3. График температуре и релативне влажности за два сензора

За све прашкасте материје су концентрације скоро идентичне и варирају око 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Што је могуће уочити и са слике 4.



Слика 4. Концентрације свих PM честица по времену

Приликом анализирања резултата добијених за укупна органска једињења (Слика 5) уочава се пораст на самом почетку мерења који је узрокован припремом штампача и радом са смолом и алкохолом. Када је започета припрема модела и сам рад на рачунару, концентрација се смањила. Током штампе, TVOC се континуирано емитују, око 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Слика 5. Резултати мерења органских испарљивих једињења

Максимална вредност ових емисија, $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ достигнута је када су истовремено отворена сва три поклопаца штампача и третирани модели накнадном обрадом. Препоручени праг за затворене просторије, који износи $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, у фази пост-процеса је прекорачен [1].

7. ЗАКЉУЧАК

Резултати мерења преузети из литературе могу се имплементирати и на систем задат у овом раду. Када се помноже просечне концентрације са штампачима у раду $1034 \mu\text{g}/\text{m}^3$, вредност концентрације органских испарљивих једињења расте до $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

За спроведени експеримент добијени су нешто другачији подаци. Резултати за испитиване штампаче показују минималне емисије честица, али високе емисије волатилних испарљивих једињења. Два сензора која су требала да мере присуство алкохола и формалдехида остала су у режиму спавања. Измерена релативна влажност, температура и емисије CO_2 су уједначене, што имплицира да су услови стабилни. Током периода штампања емисије су биле готово уједначене вредности од око $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Из овога је могуће закључити да се усвојени подаци из литературе у многоме разликују од података добијених експериментом.

Препорука је да се пројектује и експлоатише локална вентилација у непосредној близини штампача, јер поклопац на штампачу не представља никакав вид заштите. Одједном се ослобађа целокупна заробљена количина ових једињења, што доводи до већих проблема.

Препоручује се употреба адитивне производње у добро вентилираним просторијама, затварање штампача у кућиште са НЕРА и активним угљеничним филтерима, коришћење заштитне опреме (нитрилне рукавице, заштитне наочаре) при раду са смолом, као и смањен боравак у просторији током активне штампе. Емисије укључују сензибилизаторе, канцерогене и иритансе који могу изазвати иритације и друге здравствене проблеме при изложености.

Процене изложености указале су на високе *TVOC* вредности за све три фазе SLA технологије.

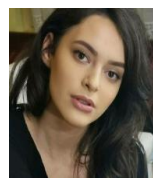
Као правци даљег истраживања предлаже се мерење присуства алкохола и формалдехида.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gu, J., et al, "Characterization of emissions from polymer-based 3D printing", *Environmental Science & Technology*, 54(2), 960–968, 2020.
- [2] C. Arden Pope & Dockery, D. W. "Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709–742, 2006.
- [3] International Agency for Research on Cancer (IARC), "Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol", *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Vol. 100F, 2012.
- [4] Игор Мујан, Александар Анђелковић, Мина Солаковић. "Квалитет унутрашње климе" (скрипта)

- [5] Qian Zhang, Aika Y. Davis, Marilzn S. Black, Emission and Chemical Exposure Potentials from Stereolithography Vat Polymerization 3D Printing and Post-processing Units", *ACS Chemical Health and Safety*, 29, 184-191, 2022.
- [6] Nguyen L.H., Straub M. & Gu. M, "Acrilate-Based Photopolymer for Two Photon Microfabrication and Photonic Applications. *Advanced Functional Materials*", 15 (2), str 209-216. doi:10.1002/adfm.2004400212, 2005.
- [7] Ngo, T.D., Kashani A, Imbalzano G, Nguyen K.T.Q, Hui D, "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges", *Composites Par*, 2018.
- [8] Yiran Yang and Lin Li, "Total Volatile Organic Compound Emission Evaluation and Control for Stereolithography Additive Manufacturing Process", Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL 60607, USA, 2017
- [9] S. J. Rees, J. D. Spitler, M. G. Davies, и P. Haves, „Qualitative comparison of North American and U.K. Cooling load calculation methods“, *HVAC and R Research*, том 6, изд. 1, стр. 75–99, 2000, doi: 10.1080/10789669.2000.10391251.
- [10] Michigan State University, Environmental Health and Safety. "Stereolithography (SLA) 3D Printing Safety Fact Sheet." Environmental Health and Safety, Michigan State University, 2020.
- [11] <https://tangiblecreative.com/the-environmental-impact-of-3d-printing/>
- [12] <https://us.snapmaker.com/blogs/news/3d-printing-and-indoor-air-quality-safety-measures> (приступљено у октобру 2025.)
- [13] <https://sensirion.com/products/catalog/SEN55> (приступљено у новембру 2025.)
- [14] <https://sensirion.com/products/catalog/SCD41> (приступљено у новембру 2025.)
- [15] https://www.dfrobot.com/product-2186.html?gad_source=1&gad_campaignid=834127384&gclid=Cj0KCQjwsPzHBhDCARIsALiWNG2xWD1b7g_NJ4hxQ4QOP0Xiy78J5otA3z7m5KcQzHddbscnrreT7lo_aAtcxEALw_wcB (приступљено у новембру 2025.)
- [16] <https://www.dfrobot.com/product-1574.html?srsId=AfmBOop6Xc5tlGZC41e6UFanEsSpcUnFx-aLiOL0JUFxvW1zBCgCdk2b> (приступљено у новембру 2025.)

Кратка биографија:



Теодора Рашковић рођена је у Врбасу 2000. године. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Чистих енергетских технологија одбранила је 2023. године. Мастер рад из исте области одбранила је 2024. године. Од 2024. године запослена је у Средњој техничкој школи „Михајло Пупин“ у Кули.

Контакт: teodora.raskovic5@gmail.com



Доцент др Игор Мујан рођен је у Новом Саду 1987. године. Докторирао је на Факултету техничких наука 2021. године. Од 2022. године запослен је у звању доцента, на Катедри за топлотну технику, Департаман за енергетику и процесну технику.

Примена Зенеровог модела вискоеластичног тела у анализи ослањања седишта

Application of the Zener model of a viscoelastic body on seat suspension analysis

Ивана Степанић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ТЕХНИЧКА МЕХАНИКА И ДИЗАЈН У ТЕХНИЦИ

Кратак садржај – У раду је анализиран проблем преноса вибрација са шасије на седиште аутомобила при његовом наласку на неравну подлогу. Вискоеластични елемент који моделира суспензију биће описан Зенеровим моделом. Приказани су резултати нумеричких симулација за два карактеристична случаја побуде и то побуда са појединачним поремећајем и стохастичка побуда.

Кључне речи: пренос вибрација, Зенеров модел, ослањање седишта

Abstract – In this paper, the issue of vibration transfer from the chassis to the car seat when the vehicle encounters an uneven surface is analyzed. The viscoelastic element modeling the suspension is described using the Zener model. The results of numerical simulations are presented for two characteristic excitation cases: excitation with a single disturbance and stochastic excitation.

Keywords: vibration transmission, Zener model, seat suspension

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

1. УВОД

Испитиван је пренос вибрација са шасије на седиште аутомобила приликом преласка преко неравне површине. Седишта са суспензијом су од суштинског значаја за ублажавање вибрација и удара који делују на тело [1]. Систем са два степена слободе кретања користи се за описивање преноса вибрација у аутомобилу – од шасије ка седишту, а затим од седишта ка путнику. Овај модел састоји се од два подсистема, при чему сваки укључује масу и вискоеластичне елементе. Маса вискоеластичних елемената се занемарује у поређењу са масама подсистема. Елементи масе и вискоеластичности међусобно су повезани паралелно, што омогућава реалистичну симулацију преноса вибрација кроз систем. Овде се разматрају проблеми принудних осцилација код којих није експлицитно дефинисана принудна сила, већ задато кретање појединих елемената система доводи до појаве нехомогеног члана

слично као код проблема са принудном силом. Келвин-Војтов модел вискоеластичног тела описује се паралелном везом између пригушнице са коефицијентом пригушења b_1 и линеарне опруге крутости c_1 . Када се овом моделу дода серијски повезана опруга крутости c_2 , добија се Зенеров модел вискоеластичног тела.

2. ЗЕНЕРОВ МОДЕЛ

Конститутивна једначина за Зенеров модел је следећег облика

$$p + \tau_p p^{(1)} = E_e(x + \tau_x x^{(1)}), \quad (1)$$

Коефицијенти τ_x, τ_p представљају времена релаксације деформације и напона. У једначини (1) фигурише и константа $E_e = \frac{EA}{l}$ где коефицијенти E_e, A_e, l_e означавају модул еластичности, површину попречног пресека и дужину вискоеластичног елемента. Времена релаксације зависе од својстава опруга и пригушнице које чине саставни део овог модела. Веза између времена релаксације, коефицијента пригушења и крутости опруга дата је следећим изразима:

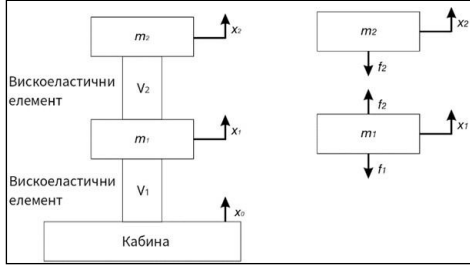
$$\tau_p = \frac{b_1}{c_1 + c_2}, \tau_x = \frac{b_1}{c_1}, E_e = \frac{c_1 c_2}{(c_1 + c_2)}. \quad (2)$$

Обзиром на физичка значења коефицијента пригушења и крутости опруга, из претходног израза се може приметити да коефицијенти задовољавају следећа ограничења: $E_e > 0, \tau_p > 0, \tau_x > \tau_p$, из којих се закључује да је време релаксације деформације код Зенеровог модела веће од времена релаксације напона. Понашање неких вискоеластичних материјала не може се на задовољавајући начин описати применом Зенеровог модела. Овој групи материјала припадају полимери, еластомери и тзв. материјали са меморијом, код којих је битно узети у обзир историју деформације. Код фракционог Зенеровог модела, уместо првог извода, уводи се ред извода α који је у интервалу $(0,1)$. То би захтевало другачији математички апарат, што превазилази оквире овог рада.

За систем са два степена слободе кретања, који је приказан на слици 1, могу се написати две диференцијалне једначине кретања које ће се добити коришћењем другог Њутновог закона за кретање масе. Једначине кретања маса m_1 и m_2 су:

$$m_1 x_1^{(2)} = f_2 - f_1, \quad (3)$$

$$m_2 x_2^{(2)} = -f_2. \quad (4)$$



Слика 1. Механички модел пасивног система ослањања седишта са два степена слободe кретања.

где су f_1 и f_2 силе у вискоеластичним елементима. Систем је у стању мировања, па су почетни услови следећег облика:

$$f_1(0) = 0, \quad x_1(0) = 0, \quad x_1^{(1)}(0) = 0, \quad (5)$$

$$f_2(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_2^{(1)}(0) = 0. \quad (6)$$

Пошто су у систему (3) и (4) непознате и силе f_1 и f_2 , потребно је увести и допунске једначине које повезују силе и деформације вискоеластичних елемената.

У наставку ће бити изведене једначине кретања система за случај када су вискоеластични елементи моделирани Зенеровим моделом. Диференцијалне једначине кретања система су једначине (3) и (4), а њима треба придружити следеће конститутивне релације:

$$f_1 + \tau_{f1} f_1^{(1)} = E_{e1} [x_1 - x_0 + \tau_{x1} (x_1^{(1)} - x_0^{(1)})], \quad (7)$$

$$f_2 + \tau_{f2} f_2^{(1)} = E_{e2} [x_2 - x_1 + \tau_{x2} (x_2^{(1)} - x_1^{(1)})], \quad (8)$$

где τ_{f1} , τ_{f2} , τ_{x1} и τ_{x2} представљају времена релаксације а E_{e1} и E_{e2} означавају константе материјала.

При томе важе следећа ограничења:

$$E_{1,2} > 0; \quad \tau_{f1,f2} > 0; \quad \tau_{x1,x2} > \tau_{f1,f2}.$$

Једначинама (7) и (8) одговарају следећи почетни услови:

$$f_1(0) = 0, \quad x_1(0) = 0, \quad x_1^{(1)}(0) = 0, \quad (9)$$

$$f_2(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_2^{(1)}(0) = 0. \quad (10)$$

Тако да су једначине кретања система за случај када су вискоеластични елементи моделирани Зенеровим моделом следеће:

$$m_1 x_1^{(2)} = f_2 - f_1, \quad (11)$$

$$m_2 x_2^{(2)} = -f_2, \quad (12)$$

$$f_1 + \tau_{f1} f_1^{(1)} = E_{e1} [x_1 - x_0 + \tau_{x1} (x_1^{(1)} - x_0^{(1)})], \quad (13)$$

$$f_2 + \tau_{f2} f_2^{(1)} = E_{e2} [x_2 - x_1 + \tau_{x2} (x_2^{(1)} - x_1^{(1)})]. \quad (14)$$

А почетни услови су:

$$f_1(0) = 0, \quad x_1(0) = 0, \quad x_1^{(1)}(0) = 0, \quad (15)$$

$$f_2(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_2^{(1)}(0) = 0. \quad (16)$$

Даље је потребно бездимензионисати систем једначина и увести бездимензијске величине.

Бездимензијске координате су следеће:

$$\bar{x}_0 = \frac{x_0}{L}, \quad \bar{x}_1 = \frac{x_1}{L}, \quad \bar{x}_2 = \frac{x_2}{L}, \quad (17)$$

Бездимензијско време и однос маса су

$$\bar{t} = \frac{t}{T}, \quad T = \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad \rho = \frac{m_1}{m_2}. \quad (18)$$

Даље су дате бездимензијске силе

$$\bar{f}_1 = \frac{f_1}{m_1 g}, \quad \bar{f}_2 = \frac{f_2}{m_1 g}. \quad (19)$$

Бездимензијска времена релаксације су

$$\bar{\tau}_{f1} = \frac{\tau_{f1}}{T}, \quad \bar{\tau}_{f2} = \frac{\tau_{f2}}{T}, \quad (20)$$

$$\bar{\tau}_{x1} = \frac{\tau_{x1}}{T}, \quad \bar{\tau}_{x2} = \frac{\tau_{x2}}{T}, \quad (21)$$

Док су константе материјала дате на следећи начин

$$\varepsilon = \frac{E_{e2}}{E_{e1}}, \quad (22)$$

$$L = \frac{m_1 g}{E_{e1}}. \quad (23)$$

Узимајући у обзир претходно наведене бездимензијске величине, бездимензијске једначине кретања маса m_1 и m_2 су:

$$x_1^{(2)} = f_2 - f_1, \quad (24)$$

$$x_2^{(1)} = -\rho f_2, \quad (25)$$

Бездимензионисањем конститутивне једначине Зенеровог модела вискоеластичног тела, добијају се једначине у следећем облику:

$$f_1 + \tau_{f1} f_1^{(1)} = x_1 - x_0 + \tau_{x1} (x_1^{(1)} - x_0^{(1)}), \quad (26)$$

$$f_2 + \tau_{f2} f_2^{(1)} = \varepsilon [x_2 - x_1 + \tau_{x2} (x_2^{(1)} - x_1^{(1)})], \quad (27)$$

и бездимензијски почетни услови за њих су:

$$f_1(0) = 0, \quad x_1(0) = 0, \quad x_1^{(1)}(0) = 0, \quad (28)$$

$$f_2(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_2^{(1)}(0) = 0. \quad (29)$$

У једначинама (24), (25), (26), (27), (28) и (29) изостављена је цртица у ознаци сваке бездимензијске величине.

Даље у раду биће приказани различити случајеви побуде. Систем ослањања возила игра важну улогу у динамичком понашању возила. Једна од главних функција система ослањања возила је да изолују масу шасије од вибрација изазваних неравнинама профила пута и другим спољашњим сметњама. Такође, седишта возила додатно доприносе смањењу вибрација. У свакодневном саобраћају, аутомобили савладавају различите врсте неравнина на путу које могу бити

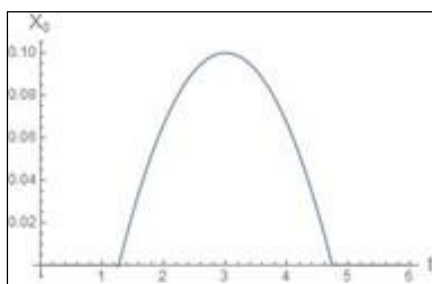
насумичне или прављене за одређену сврху. Неопходно је анализирати неколико параметара како би се предвидело понашање возила при савладавању препреке на путу. Са једне стране, анализирају се димензије и геометрија избочине или удубљења на путу, а са друге стране се анализирају брзина и карактеристике ослањања возила. Неравнине на путу које могу бити направљене за одређену сврху су, на пример, избочине за смањење брзине.

Постоје три типа побуде: побуда са појединачним поремећајем, периодичне и стохастичке. У овом раду анализирани су две врсте побуде са појединачним поремећајем, то су избочина и удубљење. Прелазак возила преко препреке доводи до благог пада брзине, на тај начин се возач приморава да смањи брзину како би се избегле незгоде и оштећење возила [3].

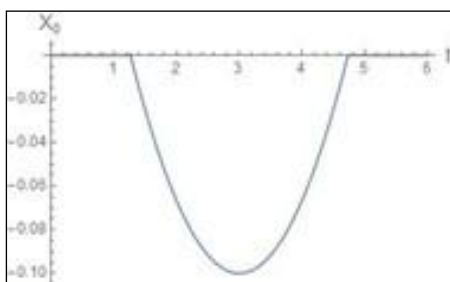
Функција $x_0(t)$ представља принуду, односно кретање шасије при наиласку на неравне подлоге, при чему се вибрације са шасије преносе на седиште аутомобила. Функција $x_1(t)$ приказује како се вибрације смирују у времену приликом преласка возила преко избочине, односно удубљења.

У овом случају, профил препреке побуђује динамику компоненти возила и вертикално кретање зависи од врсте препреке, односно узима се у обзир дужина и висина препреке. Посматра се само вертикално оптерећење, уздужно и попречно оптерећење се сматрају занемарљивим у односу на оптерећење у вертикалном правцу [4].

У наставку биће приказани графици за побуду са појединачним поремећајем. Моделована је као параболола $x_0(t) = at^2 + bt + c$. На слици 2 је приказан график за побуду типа избочина, за вредности $a = -0.033 \left[\frac{m}{s^2} \right]$, $b = 0.2 \left[\frac{m}{s} \right]$ и $c = -0.2 [m]$,



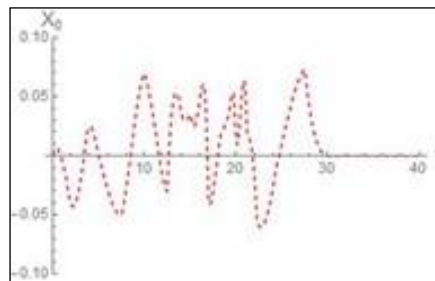
Слика 1. Побуда са појединачним поремећајем: избочина.



Слика 3. Побуда са појединачним поремећајем: удубљење.

а на слици 3 је приказан график за побуду типа удубљење за вредности $a = 0.033 \left[\frac{m}{s^2} \right]$, $b = -0.2 \left[\frac{m}{s} \right]$ и $c = 0.2 [m]$, видети [4].

На основу побуде из рада [2], генерисана је произвољна функција приказана на слици 4 и она ће касније бити коришћена у резултатима.



Слика 4. Насумична неравнина на путу [2].

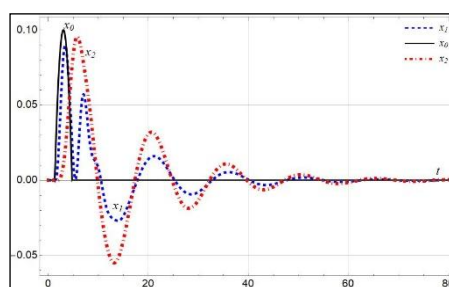
У наставку ће бити приказани резултати нумеричких симулација кретања маса m_1 и m_2 за конкретне вредности параметара система и за различите побуде.

3. РЕЗУЛТАТИ НУМЕРИЧКИХ СИМУЛАЦИЈА

У овом делу биће приказано нумеричко решавање једначина кретања маса m_1 и m_2 за конкретне вредности параметара система и за три различите врсте побуде. Нумеричке вредности параметара система седишта са суспензијом дати су у Табели 1 рада [2].

Бездимензијска решења приказана у наставку рада су добијена решавањем система (24), (25), (26) и (27) са почетним условима (28) и (29) за изабране вредности параметара система.

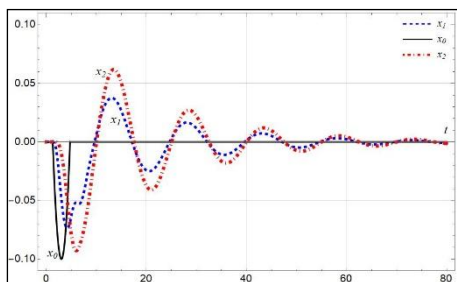
На слици 5 приказано је решење за $\rho = 0.35$, $\tau_{x1} = 1.85$, $\tau_{x2} = 1.1$, $\tau_{f1} = 0.49$ и $\tau_{f2} = 0.8$. Анализира се кретање система које је описано Зенеровим моделом, при чему су једначине дате у бездимензијској форми. У овом случају, посматра се понашање система приликом преласка возила преко избочине.



Слика 5. Бездимензијске координате маса m_1 и m_2 за побуду типа избочина

На графику се може видети како се систем понаша приликом преласка возила преко препреке. Функција $x_0(t)$ представља неравнину на путу, односно избочину преко које возило прелази током кретања. Такође, може се уочити како се амплитуде смањују током времена.

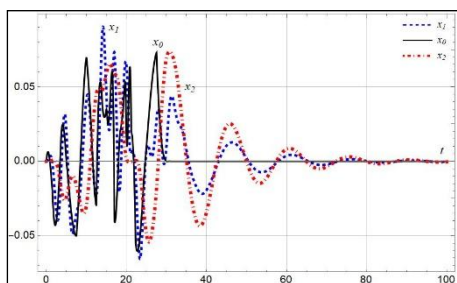
На следећој слици приказано је решење за $\rho = 0.35$, $\tau_{x1} = 1.1$, $\tau_{x2} = 1.85$, $\tau_{f1} = 0.81$ и $\tau_{f2} = 0.49$. Анализира се понашање система приликом наиласка возила на удубљење



Слика 6. Бездимензијске координате маса m_1 и m_2 за побуду типа удубљења.

Претходни график приказује наилазак возила у удубљење на путу, које је на графику означено са x_0 . Након изласка возила из удубљења, може се видети како се осцилације пригушују.

На слици 7 је приказано решење за произвољну побуду. Бездимензијске вредности параметара система су $\rho = 0.35$, $\tau_{x1} = 1.85$, $\tau_{x2} = 1.1$, $\tau_{f1} = 0.49$ и $\tau_{f2} = 0.81$.



Слика 2. Бездимензијске координате маса m_1 и m_2 за произвољну побуду.

На слици 7 је приказана произвољна побуда која је означена са x_0 . Ова побуда може бити и избочина и удубљење на путу, преко којих возило прелази током кретања. На графику се види да амплитуде почињу да опадају тек када возило пређе преко свих препрека.

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је проучен проблем преноса вибрација са шасије на седиште аутомобила при његовом наиласку на неравну подлогу. Да би се ове вибрације изоловале и како би се спречио њихов пренос на људско тело, користи се седиште са суспензијом. Представљен је модел са два степена слободe кретања, анализирано је кретање седишта и кретање тела возача у непокретном координатном систему. Описан је механички модел на основу којег су изведене диференцијалне једначине кретања. Једначине су дате прво у димензијској форми, а након тога су уведене бездимензијске величине и једначине су дате у бездимензијском облику. Принудна сила у овом проблему није експлицитно задата, али је задато кретање елемента система које проузрокује нехомогени члан у диференцијалној једначини осцилаторног кретања. Принудне Принудне осцилације се не амортизују при постојању отпора и њихова фреквенција је једнака фреквенцији принудне силе и она не зависи од карактеристика система који осцилује. Такође, и амплитуда принудних осцилација не зависи од почетних услова. Приказани су резултати и они су добијени нумеричким решавањем система

диференцијалних једначина, коришћењем програмског пакета Wolfram Mathematica. Анализиране су три врсте побуде: избочина, удубљење и произвољна побуда. Дати су резултати нумеричких симулација за ове три врсте побуда. На основу добијених графичких приказа може се закључити да динамичко понашање возила зависи од облика побуде, карактеристика система и изабраних параметара модела. Код свих случајева приметно је да померање седишта брже реагује на побуду, док померање тела возача има израженије и дуже трајање осцилација. Величина и облик амплитуда зависи од типа побуде, као и од параметара вискоеластичних елемената. Након проласка преко неравна профилa пута, систем наставља да осцилује, при чему се осцилације постепено смањују до стационарног стања.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Aisyah Adam, N. A. Abdul Jalil, K. A. Md Razali, Y. G. Ng and M. F. Aladdin, "Mathematical Model of Suspension Seat-Person Exposed to Vertical Vibration for Off-Road Vehicles", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, Volume 16, Issue 2 pp. 6773-6782, June 2019.
- [2] Do Xuan Phu, Van Mien, Phan Huu Thanh Tu, Ngoc Phi Nguyen, Seung-Bok Choi, "A New Optimal Sliding Mode Controller with Adjustable Gains based on Bolza-Meyer Criterion for Vibration Control", *Journal of Sound and Vibration*, Volume 485, 115542, October 2020.
- [3] Ayoub Benhiba, Abdelmajid Bybi, Rajae Alla, Drissi Hilal and Chater, El Ayachi, "Investigation of Vibrations Energy Harvesting from Passive Car Suspension Using Quarter Car Model Under Bump Excitation", *The International Conference on Energy and Green Computing (ICEGC'2021)*, Meknes, Morocco, Edited by Benhala, B.; Mansouri, K.; Raihani, A.; Qbadou, M.; *E3S Web of Conferences*, Volume 336, id.00053, December 2022.
- [4] Dimitrios Koulocheris and Clio Vossou, "A Comparative Study of Integrated Vehicle-Seat-Human Models for the Evaluation of Ride Comfort", *Vehicles*, Volume 5, Issue 1, pp. 156-176; 2023.

Кратка биографија:



Ивана Степанић рођена је у Лозници 1996. год. Средњу графичку школу завршила је 2015 год. у Лозници. Основне академске студије завршила је 2019 год. на Факултету техничких наука. Студијски програм мастер студија Техничка механика и дизајн у техници на Факултету техничких наука уписала је 2019.год.

Контакт:

stepanic.ivana96@gmail.com



Израда софтверске апликације за модалну анализу Н-спратне рамске конструкције

Development of a Software Application for Modal Analysis of an N-Storey Frame Structure

Андреј Личанин, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ТЕХНИЧКА МЕХАНИКА И ДИЗАЈН У ТЕХНИЦИ

Кратак садржај – У овом раду представљен је модел за *апроксимативну динамичку анализу Н-спратне рамске конструкције* путем *система еквивалентних опруга*. Овај приступ омогућава поједностављено одређивање *сопствених фреквенција* и модалних облика осциловања конструкције, превазилазећи ограничења статичке анализе. Развијена је софтверска апликација користећи **C#** и **WPF** технологије, по принципу **MVVM** архитектуре, која омогућава инжењерима и студентима да брзо прорачунају параметре крутости и масе, а затим изврше прорачун вибрација у првом моду. Провера резултата кроз поређење са апроксимативним инжењерским методама потврдила је високу поузданост апликације, чиме је успостављена веза између теоријске механике и практичне софтверске имплементације у домену пројектовања.

Кључне речи : динамичка анализа, систем опруга, сопствене фреквенције, **MVVM**, рамска конструкција

Abstract – This paper presents a model for the *approximate dynamic analysis* of N-storey frame structures using a *system of equivalent springs*. This approach allows for a simplified determination of *natural frequencies* and mode shapes of the structure's oscillation, overcoming the limitations of static analysis. A software application was developed using **C#** and **WPF** technologies, based on the **MVVM** architectural pattern, enabling engineers and students to quickly calculate stiffness and mass parameters and subsequently perform vibration analysis in the first mode. The validation of the results through comparison with approximate engineering methods confirmed the application's high reliability, establishing a link between theoretical mechanics and practical software implementation in the field of structural design.

Keywords: dynamic analysis, spring system, natural frequency, **MVVM**, frame structure

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је проф. др Звонко Ракарић, ред. проф.

1. УВОД

Пројектовање савремених вишеспратних конструкција неопходно подразумева анализу њиховог понашања под дејством динамичких оптерећења, попут ветра или сеизмичке активности. У инжењерској пракси, традиционална статичка анализа често је недовољна за тачну процену сигурности и стабилности конструкције, посебно када се у обзир узме ефекат вибрација и њихових сопствених фреквенција.

Апроксимативне методе имају значајну улогу у почетним фазама пројектовања јер нуде брзе и поуздане процене, пре него што се приступи детаљној анализи. Моделовање Н-спратне рамске конструкције као система са **Н степени слободе** чија се крутост замењује **еквивалентним системом опруга** представља један од ефикасних апроксимативних приступа. Овај модел поједностављује комплексну структуру, омогућавајући директно формирање матрице крутости **K** и матрице масе **M**.

На тај начин, проблем динамичке анализе своди се на решавање диференцијалне једначине осциловања.

Циљ овог рада је двострук. Прво, систематизовати теоријски оквир за прорачун померања и сопствених фреквенција рамске конструкције коришћењем модела опруга. Друго, применити овај теоријски оквир за развој софтверске апликације (**ApproxCalc**). Апликација је имплементирана у програмском језику **C#** са **WPF** технологијом и користи **MVVM** архитектуру, пружајући инжењерима и студентима алат за брзо одређивање параметара и решења вибрација у првом моду. У наставку рада биће приказана методологија, софтверска имплементација и резултати валидације прорачуна.

2. Теоријске основе и методологија

Апроксимативни прорачун вибрација рамске конструкције базиран је на моделу у којем је маса концентрисана у тежиштима плоча (спратова), док се крутост конструкције моделира као систем еквивалентних опруга који је описан у раду [6]. Овај модел представља систем са **Н степени слободе** који осцилује искључиво транслаторно.

2.1. Моделовање структуралних елемената као опруга

Основна идеја методологије заснива се на Хуковом закону који описује линеарну везу између силе F и деформације Δ : $F = k \cdot \Delta$, где је k константа крутости опруге. За структуралне елементе као што су стубови, издужење аксијално оптерећене шипке се добија изразом [6]:

$$k_{eq} = \frac{EA}{L} \quad (1)$$

Овим се показује да структурни елемент може да се посматра као опруга са одређеном крутошћу.

2.2. Одређивање крутости стубова

Крутост k једног спрата представља укупну силу која је потребна да се тај спрат помери за јединично померање ($\Delta = 1$), у односу на спрат испод. За стуб, крутост се одређује на основу граничних услова:

- Стуб уклештен на једном крају, слободан на другом ($k = 3EI/L^3$) [5], примењује се за приземље
- Стуб уклештен у обе плоче ($k = 12EI/L^3$) [6]
- Стуб је слободан на оба краја, ($k = 0$) [6]

где је E Јунгов модул еластичности, I момент инерције попречног пресека, а L висина стуба.

2.3. Комбиновање опруга у серијске и паралелне системе

У реалним структурама, елементи се могу комбиновати на различите начине. Опруге везане паралелно доживљавају исту деформацију, али се сила распоређује између опруга. Еквивалентна крутост паралелног система је [6]:

$$k_{eq} = k_1 + k_2 + \dots + k_n \quad (2)$$

Насупрот томе, серијски везане опруге доживљавају исту силу, али се деформација распоређује. За серију опруга, еквивалентна крутост се израчунава као [6]:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \quad (3)$$

Укупна крутост спрата добија се као сума крутости свих стубова тог спрата, с обзиром на то да су стубови паралелно повезане због ригидности плоча [6]:

$$\frac{1}{k_i} = \sum_{j=1}^{N_{col}} \frac{1}{k_j} \quad (4)$$

где је N_{col} број стубова на спрату i .

Коначна крутост целе конструкције је [5]:

$$K = \sum_{i=1}^{N_{col}} k_i \quad (5)$$

Са овом крутошћу и познатом силом која делује на врху конструкције, рачуна се померање задњег спрата и пропорционална померања сваког спрата засебно.

2.4. Формирање матрица и прорачун вибрација

Маса сваког спрата узима се као концентрисана маса која укључује стално и делујуће променљиво оптерећење. Динамичко понашање N -спратне конструкције се описује хомогеним системом диференцијалних једначина:

$$M\ddot{x} + Kx = 0 \quad (6)$$

где је M Матрица масе (дијагонална матрица) и K Матрица крутости.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_N \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & -k_N \\ 0 & 0 & 0 & -k_N & k_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

Решавањем једначине $(K - \omega^2 M)x = 0$ добијају се сопствене фреквенције ω (квадратни корени сопствених вредности) и одговарајући модални облици x . За потребе овог рада, фокус је на прорачуну првог мода осциловања (ω_1), који је најважнији у пракси. Решавање система једначина спроведено је уз помоћ нумеричких метода.

2.5. Нормализација модалних облика

Добијени модални вектори ϕ могу бити произвољно скалирани, јер систем има бесконачно много решења. Како би се модални облици стандардизовали и учинили употребљивим у даљој анализи, примењује се нормализација по јединичној модалној маси:

$$\phi^T M \phi = 1 \quad (9)$$

На тај начин, модална маса сваког мода је једнака 1, а модална крутост се добија директно из израза $K_{modal} = \omega^2$. Ова нормализација омогућава конзистентно поређење између различитих модова и директно израчунавање модалних карактеристика.

3. Софтверска имплементација и архитектура

Софтверска апликација АпрохiСalc развијена је као директна имплементација теоријског модела апроксимативне динамичке анализе вишеспратних конструкција на основу рада [5] и проширено са модалном анализом вибрација. Основни циљ апликације је да омогући инжењерима и студентима једноставан, интуитиван и прецизан начин за одређивање параметара крутости, померања спратова, масе и сопствених фреквенција система са више степени слободе. Посебан акценат стављен је на транспарентност прорачуна, једноставан унос података и јасну визуализацију резултата.

3.1. Технолошки оквир и архитектура система

AproxiCalc је реализован у програмском језику C# у оквиру .NET платформе, уз примену WPF (Windows Presentation Foundation) технологије за израду графичког интерфејса. Ова технологија омогућава раздвајање презентационог слоја од логичког, што је од кључног значаја за одрживост кода. Архитектонски образац MVVM (Model–View–ViewModel) примењен је као основа апликације, чиме је постигнута јасна хијерархија компонената: Model управља подацима и прорачуном, View дефинише кориснички интерфејс, док ViewModel посредује у комуникацији између ова два слоја путем механизма data binding-a.

За нумеричке прорачуне примењена је библиотека MathNet.Numerics, која омогућава прецизну реализацију линеарно-алгебарских операција, решавање система једначина и сопствених вредности (eigenvalue decomposition). Захваљујући овој библиотеци, могуће је формирати матрице крутости и масе, а затим нумерички израчунати сопствене фреквенције и модалне облике.

3.2. Кориснички интерфејс и организација података

Кориснички интерфејс апликације дизајниран је са нагласком на једноставности и интуитивности. Почетни корак рада подразумева дефинисање улазних параметара: броја спратова, висине етажа, броја и типа колона, као и њихових граничних услова. Корисник може уносити вредности за модул еластичности (E), момент инерције (I) и геометрију стуба, након чега апликација аутоматски израчунава еквивалентне крутости по спратовима.

Програм узима висину спрата и додељује ту висину свим колонама на том спрату.

Сви подаци се динамички чувају у меморији апликације у облику објеката који представљају елементе конструкције. При свакој промени вредности, WPF механизам аутоматски ажурира приказ на интерфејсу, што омогућава тренутни визуелни повратак. Посебан акценат је стављен на то да корисник не мора сам да покрене прорачун па провера резултате, него се прорачун константно ажурира у позадини. Оваква интерактивност значајно убрзава процес верификације и анализе резултата, што је посебно корисно у настави и инжењерским симулацијама.

За визуелизацију резултата примењена је библиотека OxyPlot, која пружа графички приказ модалних облика осцилација и зависности између висине спрата и релативних померања. Ово омогућава кориснику да не само види нумеричке резултате, већ и да визуелно интерпретира вибрационо понашање конструкције.

3.3. Радни ток и прорачунски модул

Прорачун у апликацији реализован је кроз више корака који прате логички ток инжењерског рада:

1. Дефинисање улазних података – корисник уноси геометрију и материјалне карактеристике стубова и

етажа.

2. Формирање крутости – апликација аутоматски израчунава крутост сваког спрата на основу граничних услова и формула $k = 3EI/L^3$ или $k = 12EI/L^3$.
3. Генерисање матрица – из добијених вредности формирају се масена и крутостна матрица, при чему су у обзир узете серијске и паралелне везе спратова.
4. Решавање сопственог проблема – применом нумеричких метода одређују се сопствене фреквенције и модални облици осцилација.
5. Нормализација резултата – модални вектори се нормализују по јединичној модалној маси, чиме се обезбеђује конзистентност резултата.
6. Приказ и извоз – корисник може резултате прегледати у табеларном и графичком облику и извести их у CSV или PDF формат.

Апликација користи библиотеку QuestPDF за аутоматско генерисање техничких извештаја који садрже све улазне параметре, добијене матрице, фреквенције и графичке приказе.

Битна ставка у извештајима је да су укључене формуле за прорачун са вредностима да би кориснику било лакше да разуме шта се десило у позадини.

3.4. Валидација и тестирање

Резултати добијени помоћу апликације AproxiCalc верификовани су поређењем са ручним прорачуном и аналитичким методама из литературе. Разлике у резултатима првог мода осцилација биле су у распону од 3–6%, што потврђује високу тачност примене нумеричког решавања. Валидација је додатно потврдила да апроксимативни модел опруга даје задовољавајућу тачност за инжењерске процене.

4. ЗАКЉУЧАК

Развијена апликација AproxiCalc представља успешну имплементацију апроксимативне методе за анализу вибрација вишеспратних рамских конструкција. Комбиновањем теоријског модела система опруга и савремених програмских технологија постигнута је равнотежа између једноставности употребе и прецизности резултата. Применом архитектуре MVVM, библиотека MathNet.Numerics, OxyPlot и QuestPDF, омогућено је интерактивно израчунавање крутости, формирање матрица масе и крутости, решавање сопственог проблема и визуелизација модалних облика осцилација.

Валидација резултата показала је да апроксимативни модел пружа довољно високу тачност за инжењерске процене, уз значајно мање време израчунавања у поређењу са класичним нумеричким методама. На тај начин, AproxiCalc не само да представља едукативни и инжењерски алат, већ и пример интеграције теоријске механике, математичког моделирања и софтверског инжењерства у јединствен систем применљив у настави и пракси.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5. izd. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, 2010.
- [2] Л. Цветићанин и Ђ. Ђукић, *Кинематика*. Нови Сад: Факултет техничких наука, 2013.
- [3] Ђ. Ђукић и Л. Цветићанин, *Статика*. Нови Сад: Факултет техничких наука, 2013.
- [4] Ђ. Ђукић, Л. Цветићанин и М. Зуковић, *Динамика*. Нови Сад: Факултет техничких наука, 2015.
- [5] Б. Вујановић, *Теорија осцилација*. Нови Сад: Факултет техничких наука, 1995.
- [6] D. C. Weggel, D. M. Boyajian, and S.-E. Chen, "Modelling structures as systems of springs," *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 6, no. 1, str. 169-172, 2007.
- [7] З. Ђ. Ракарић, *Инжењерска динамика*. Нови Сад: Факултет техничких наука, 2021.

Кратка биографија:



Андреј Личанин Рођен у Дубровнику 1990. године, доселио се у Нови Сад 1996 где завршава основну и средњу школу. Дипломирао на Факултету Техничких Наука 2018. на смеру Техничка механика и дизајн. Мастер рад одбранио 2025. на истом смеру.

Контакт:
andrel.licanin@gmail.com



Технологија и организација грађења подвожњака

Technology and organization of construction of the underpass

Марио Шапурић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Предмет овог рада је изградња бетонске конструкције подвожњака у сложеним условима околине

Кључне речи (три до пет): организација, динамика, реални проблеми у извођењу

Abstract – *The subject of this paper is the construction of a concrete underpass structure in complex environmental conditions.*

Keywords: (three to five): organization, schedule (or dynamics), real problems during execution

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

1. УВОД

Услови и захтеви који се постављају пред нас приликом пројектовања и извођења објекта су у циљу стварања објекта који ће бити изведен тако да буде користан и прихватљив. У току процеса грађења објекта морамо се придржавати организацијског редоследа. Ако желимо да изведемо објекат на рационалан начин, морамо тежити оптималном односу између трошкова и квалитета. Како бисмо то постигли морамо у целини сагледати све процесе пројектовања, изградње и експлоатације објекта.

Ранија искуства су показала да лоша организација од самог почетка доводи до значајних повећања трошкова, као и до смањења квалитета изграђеног објекта. Због тога тежимо да од самог старта, од пројектовања конструкције, што боље организујемо производни процес. Детаљном анализом пројекта треба усвојити одговарајућу технологију грађења и одредити целокупну организацију грађења тог објекта. Претходно наведене активности анализе пројекта, усвајање технологије и организације грађења су предуслови за успешну реализацију пројекта и они се разликују у зависности од врсте и намене објекта, и различитих грађевинских услова.

Пре почетка производног процеса треба обезбедити све ресурсе за рад, проучити методе рада и технологије грађења, и организовати место изградње објекта. Сложена организација производње, велики број

операција и висок степен механизованости процеса карактерише грађевинску производњу. Сваком учеснику у будућој реализацији објекта је потребан пројекат организације грађења [1].

Основни **циљеви** за израду пројекта организације грађења су:

- остварење континуиране производње,
- постизање економичности и продуктивности,
- коришћење најпогоднијих технологија,
- испуњење задатих рокова,
- равномерно ангажовање ресурса и слично

2. МЕТОДЕ ОБРАДЕ

За изградњу објекта, односно његово целокупно планирање, је потребно познавање и коришћење различитих метода које омогућују моделирање посматраних процеса. Паралелизацијом радова истовремено можемо обављати више радњи што нам у великој мери помаже јер се објекат састоји од великог броја операција које се одвијају према технолошким захтевима у унапред одређеном редоследу и, просторно, на различитим местима.

Методе планирања употребљене за израду овог рада су:

- анализа и синтеза,
- техника мрежног плана,
- методе гантограма применом MS Project-a

Важан вид обраде података су анализа и синтеза, јер дају јасан приказ могућих решења. Дају везу између могућих и ваљаних решења и зависе од количине и веродостојности података.

Техника мрежног планирања је графичко-нумеричка метода за представљање процеса ради њеног планирања [2].

Гантограм представља линијске дијаграме који су са становништва практичне примене најразумљивији и најчешће коришћени облик планирања радова [2].

3. КОНСТРУКЦИЈА

Конструкција подвожњака састоји се од горње плоче преко које прелази железнички саобраћај, темељне

плоче преко које је предвиђен путнички саобраћај и ободних зидова. Сви ови бетонски елементи формирају “затворени оквир” односно круту кутијасту конструкцију. Основни светли отвор конструкције $l_0 \times h_0 = 11,25\text{m} \times 6,50\text{m}$, а слободни профил за пролазак саобраћаја је $11,25\text{m} \times 5,64\text{m}$ у оси пута. Дебљина темељне плоче и зидова износи 90cm , а горње плоче променеиво $80\text{--}87\text{cm}$. Вишеколосечан је, са променом броја колосека на објекту дужине $38,61\text{m}$.

Максимална дужина конструкције је $38,61\text{m}$, а осовински распон подвожњака износи $12,15\text{m}$ (у закошењу $12,72\text{m}$). Пројектом трасе пруге на месту подвожњака је предвиђено пет колосека који са осом саобраћајнице граде угао од $\sim 73^\circ$. Подвожњак је закошен у односу на колосеке, ивице темељне и горње плоче прате правац крајњих колосека. На улазу и излазу су предвиђени крилни зидови дебљине 90cm и дужине 2m са обе стране који ће бити изведени на заједничкој темељној плочи са самом конструкцијом подвожњака. Конструкције затвореног рама подвожњака се састоји из две независне целине између којих ће бити постављена дилатациона спојница. На месту дилатације ће бити постављена “Фугебанд” трака која треба да обезбеди водонепропусност дилатационе спојнице.

Кота фундирања је предвиђена на $+101.50\text{mm}$, на месту подвожњака кота ГИШ-а износи 110.64mm , док кота доње ивице распонске плоче износи $+108.90\text{mm}$.

Преко горње плоче је предвиђена ММА хидроизолација која се штити помоћу слоја од 5cm бетона од ситнозрног агрегата са поцинкованом мрежом и еластични тепих. Горња плоча се изводи у двостраном паду од 1% по косини, док је управно на осу пута $1,1\%$.

Спољну хидроизолацију темељне плоче се изводи непрекинуто преко углова, уз подизање уз зидове. Са спољашње стране зидова подвожњака се изводи хидроизолација од “ПВЦ” мембране на преколоп са свом потребном подлогом, а затим и постављање стиродура за заштиту хидроизолације.

Израда темељне плоче и конструкције подвожњака се изводи у унапред припремљеној темељној јами. Ископ темељне јаме се осигурава коришћењем челичних талпи са водонепропусним спојевима. Дубина јаме је око 8m .

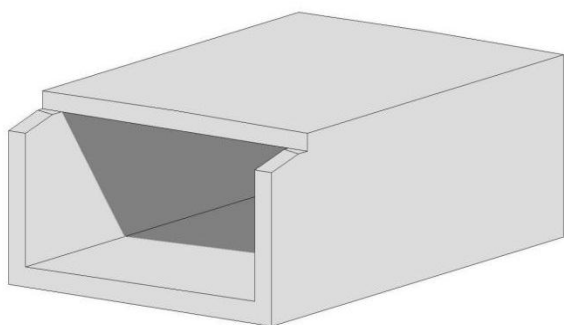
На улазу и излазу из подвожњака се налазе отворени рамови дужине по 120m . Отворени рамови су у кампадама од по 5m , а приликом наставка бетонирања и између кампада се налазе траке за заптивање воде. Ширина темељне стопе отвореног рама је 13.05m , 17.05m , 18.05m и 20.05m са промењивом висином зидова у зависности од дубине усека.

Заштитни слој свих армиранобетонских елемената је 50mm .

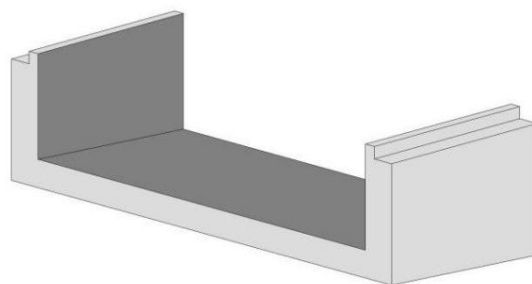
Сви елементи се изводе монолитно, на лицу места, бетоном следеће класе:

Табела 1. Класе бетона

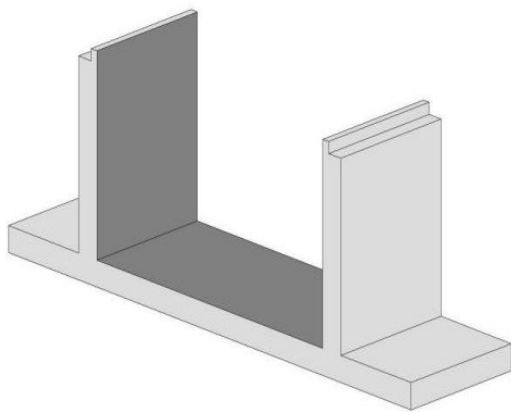
Темељи отворених и затворених рамова, потпорних зидова и горња плоча затворених рамова	C35/45, XC4, XF1, V-II цемент класе "N"
Зидови отворених и затворених рамова	C35/45, XC4, XD3, XF4, V-III, MS-S2 цемент класе "N"
Мршав бетон (потпорни зидови, темељна плоча)	C16/20, X0, цемент класе "N"
Мршав бетон (заштита хидроизолације)	C16/20, X1, цемент класе "N"
Арматура	B500B



Слика 1. 3D приказ кутијастог профила



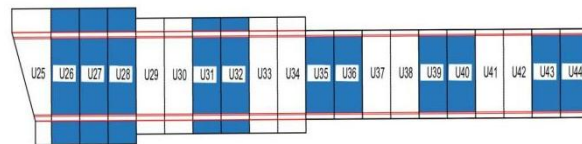
Слика 2. 3D приказ отворене U-каде



Слика 3. 3D приказ отворених U када

Израда U када по тактовима

Источни сегмент



Прва бригада:
 U44-U43
 U40-U39
 U36-U35
 U32-U31
 U28-U27-U26

Друга бригада:
 U42-U41
 U38-U37
 U34-U33
 U30-U29
 U25

Слика 5. Кампаде U25-U44

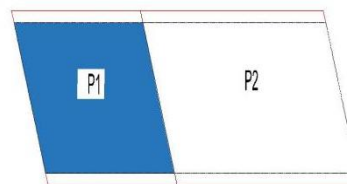
4. ОРГАНИЗАЦИЈА ГРАЂЕЊА

Иако се у пракси изградња овакве врсте објекта почиње од најниже тачке, односно у овом случају од затворених кампада P1 и P2, при изградњи овог објекта редослед радова је такав да се прво изводе земљани радови у континуитету почевши од кампаде U1 до кампаде U24, заједно са затвореним профилем P1 - западна страна, и на овој страни прво крећу радови на бетонској конструкцији такође од кампаде U1 до затвореног профила P1. Овакав редослед прихваћен је услед лаког приступа западној страни будућег објекта због постојеће саобраћајнице.

По завршетку горње плоче затвореног профила P1, измешта се колосек са провизоријума на овај профил и након уклањања провизоријума почињу радови на бетонској конструкцији затвореног профила P2.

Израда затворених рамова

Западни P1 и источни P2 сегмент

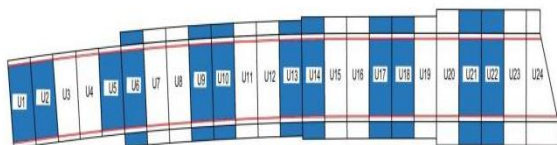


Обе бригаде су ангажоване на изради сегмента P1, а након измештања колосека исте раде на изради сегмента P2

Слика 6. Кампаде P1 и P2

Израда U када по тактовима

Западни сегмент



Прва бригада:
 U1-U2
 U5-U6
 U9-U10
 U13-U14
 U17-U18
 U21-U22

Друга бригада:
 U3-U4
 U7-U8
 U11-U12
 U15-U16
 U19-U20
 U23-U24

Слика 4. Кампаде U1-U24

Након завршеног ископа на западној страни креће се са ископом са источне стране од кампаде U44 до U25, а након ископа кампаде U40 почиње се са бетонским радовима на источној страни од кампаде U44 до кампаде U25.

5. УПОРЕДНИ ПРЕГЛЕД ПЛАНИРАНЕ И СТВАРНЕ ДИНАМИКЕ РАДОВА

Првобитним планирањем изградње подвожњака и динамиком извођења радова где су се покушале сагледати и уврстити све непредвиђене околности које би довеле до одлагања завршетка радова добијено је трајање радова од 232 радна дана. Међутим, извођењем радова и другим околностима на терену увидело се да предвиђено трејање радова неће бити у складу са планираном динамиком.

Околности које су имале утицај на различито трајање радова између планиране и стварне динамике извођења радова могу се поделити на:

Табела 2. Кашњење у данима

СЛОЖЕНИ УСЛОВИ КОЈИ СУ УТИЦАЛИ НА ИЗВОЂЕЊЕ РАДОВА		Застој (дана)
Метеоролошки услови	Непредвиђени временски услови праћени обилним падавима	11
Геотехнички услови	Геомеханички елаборат који се разликовао од стварног стања на терену	/
Административно-правни услови	Додатне парцеле на којима је било потребно извршити експропријацију	8
Пројектовање	Позиција објекта у односу на линију експропријације и препројектовање објекта	/
Техничко-технолошки услови	Измене у организацији и динамици радова Хаварија на бетонској бази	43
УКУПНО:		62

Радови на предметном подвожњаку су се одвијали у условима непрекидног железничког саобраћаја, па су биле неопходне посебне мере организације и безбедности како би се омогућило неометано функционисање железнице и заштитила радна зона.

У току припреме организације извођења радова дошло је до одлагања почетка радова а затим и до значајног отежавања истих. Након прегледа саме локације утврђено да темељи западног дела објекта делимично излазе из линије експропријације. Ова околност је онемогућила извођење радова у пуном обиму и према оригиналном пројекту и довела је до потребе за препројектовањем конструкције. У оквиру тих измена, дошло је до смањења ширине темељних плоча кампада, док је њихова дебљина повећана како би се очувала носивост и стабилност конструкције. И поред извршених корекција, нова граница темељних плоча налазила се на самој ивици суседних парцела, што је додатно отежало извођење радова, нарочито у погледу постављања оплате, смештаја и кретања механизације и безбедног приступа радника радној зони.

Као решење је договорена додатна експропријација суседних парцела што је довело до промене у динамици извођења радова. Радови су према плану требали да започну на западном делу трасе, али због непотпуно окончаног поступка експропријације није било могуће приступити том делу градилишта. Као компромисно решење, извођење је започето на источном делу, и то на првих десет кампада, док се поступак експропријације није окончао. Како је дошло до промене стране на којој се почињу радови, динамика достављања арматуре на градилиште се пореметила. Арматура је наручена сходно динамици радова од кампаде U1 до U24, међутим како су радови пребачени на кампаде од U44 до U35 тако је дошло до застоја, тј. чекања на потребну арматуру за ове кампаде.

Застој је био од 01.08. - 09.08.2022.године, у трајању од 8 дана.

На предметној локацији подземне воде се налазе непосредно испод површине терена (доња кота ископа

+101.20 док је кота подземне воде на висини од +107.90), а како је ова вода дошла у контакт са лесом и финим честицама прашине, онемогућено је снижавање нивоа воде у динамици и на начин предвиђен пројектом. Бунар за црпљење воде, планиран у пројектној документацији, показао се недовољним, па је у фази извођења радова било потребно формирати додатне бунаре и спроводити црпљење са више места истовремено. Овакав режим снижавања нивоа подземне воде изазвао је локална слегања околног терена и појаву оштећења на оближњим објектима, што је захтевало стално праћење стања на терену и санацију оштећених објеката. Ове активности довеле су до ангажовања додатне механизације и повећања укупних трошкова у периоду од 01.06. - 15.06.2023.године, без утицаја на трајање радова.

Оваква комбинација материјала тла не поседује пројектом предвиђене карактеристике носивости. Као последица тога, било је неопходно извршити замену тла, што је подразумевало уклањање постојећег материјала и уградњу ситнозрног (0-31,5мм) и крупнозрног дробљеног камена (63-100мм) - туцаника, у различитим дебљинама уз контролисано збијање уз повећање дебљине подложног бетона на неким местима да би се постигле потребне карактеристике тла за наставак радова.

Пројектом извођења обезбеђења ископа за бетонску конструкцију подвожњака предвиђене су Ларсен талпе. Међутим приликом обезбеђења дубљих зона ископа 8-9 метара, а због високог нивоа подземних вода и притиска околног тла дошло је до значајних савијања талпи у горњој зони. То је условило прекид радова до осигурања ископа цевима за разупирање талпи. Све ово је произвело застој од 11 календарских дана у периоду од 03.08. до 14.08.2023.године.

Измене у току трајања радова проузроковане су и техничким проблемима на терену. У току бетонирања зидова кампаде U28 и U29 дана 19.02.2023.године, дошло је до хаварије на бетонској бази из које се допремао бетон. На 1/3 висине зида кампаде (Око

1.70м) дошло је до прекида бетонирања у трајању од 4 сата, колико је требало да стигне бетон из резерве фабрике бетона.

Након завршеног бетонирања зидова кампада U28 и U29 надзорни орган је изразио сумњу у квалитет везе бетона због превеликог временског размака у бетонирању.

Радови су заустављени до доказивања квалитета уграђеног бетона на критичном месту, односно споју бетона зидова. Након заустављања радова на изради зидова кампада U29 и U28 од стране надзорног органа, почиње застој јер је било потребно 5 дана да се ангажује адекватна фирма која је могла да изврши испитивање уграђеног бетона. Ангажованој фирми је било потребно седам дана за испитиве због заузетости на претходно уговореним пројектима

Испитивање је трајало један дан, а позитивни резултати су добијени након 5 дана, након чега је настављено са изградњом објекта. Непланирани застој је трајао у периоду од 19.02.2023.године до 08.03.2023.године што чини укупно 17 дана.

Такође, контролним испитивањем узорака бетона (чврстоћа бетона), седам дана након уграђивања, констатована су одступања у механичким карактеристикама пројектованог и уграђеног бетона зидова кампада U26 и U27, те је надзорни орган зауставио радове до добијања чврстоће на 28 дана. Каснији узорци су након испитивања показали пројектом захтеване карактеристике. Застој је настао у периоду од 19.03. до 14.04.2023.године, укупно 26 дана.

6. ЗАКЉУЧАК

Сви наведени фактори – неповољни метеоролошки услови, геотехнички услови, одступања у квалитету уграђених материјала услед хаварије, високе подземне воде, недовољна техничка опремљеност и административни проблеми – заједнички су допринели продужењу укупног рока извођења радова. Иако су предузете мере санације и организационе корекције омогућиле наставак градње, укупна динамика је била значајно нарушена, а финансијски трошкови увећани у односу на првобитно планиране.

Иако је процес извођења радова био темељно планиран у погледу динамике, технологије и организације, а све према пројекту, пракса показује да се током реализације грађевинских пројеката могу појавити различити непредвиђени фактори који условљавају застоје. Такви проблеми могу бити техничке, технолошке, организационе или административне природе, а њихово правовремено уочавање и адекватно решавање представљају један од најважнијих изазова у управљању пројектом.

У конкретном случају, упркос добро израђеном плану, дошло је до пауза у извођењу радова. Ови фактори јасно показују да је грађевинарство област у којој је неопходна висока флексибилност и способност адаптације на реалне услове на терену.

Предмет овог рада била је организација грађења бетонске конструкције подвожњака у Суботици на стационажи km 174+515 и упоређивање са стварним стањем на терену у току извођења радова.

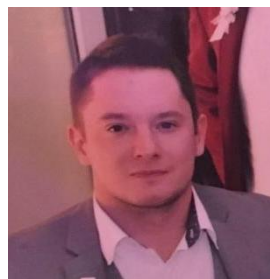
- За обављање радова на изради бетонске конструкције подвожњака, са планираном временском резервом од 22 дана, према анализи било је потребно 232 радна дана (326 календарских дана, радна недеља понедељак-петак), док је према стварном стању трајање било 294 радна дана (343 календарска дана, радна недеља понедељак-субота - радна недеља је повећана због кашњења)
- Механизација за замљане радове је коришћена у трајању од 57 дана и то: два багера, 6 камиона кипера, ваљак, машина за побијање талпи и помоћне грађевинске алате. Док је према стварном стању на градилишту, а након потребе за заменом тла ова механизација појачана те се време трајања земљаних радова смањило на 54 дана.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] М.Тривунић, З.Матијевић, "Технологија и организација грађења", практикум, Факултет техничких наука у Новом Саду, Нови Сад, 2004

[2] Богдан Трбојевић "Организација грађевинских радова" Грађевинска књига, Београд, 1979

Кратка биографија:



Марио Шапурић, рођен у Врбасу 04.06.1987.године. Мастер академске студије уписао је 2019.године на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер Организација и технологија грађења. Контакт: mario.sapuric@gmail.com

Анализа економичности пројектовања спрегнуте конструкције са лако-агрегатним бетоном за тржиште Републике Србије

Analysis of the Cost-Effectiveness of Designing a Composite Structure with Lightweight Aggregate Concrete for the Market of the Republic of Serbia

Зоран Петковић, Ђорђе Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област-ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – *Сврха овог рада је одговор на питање: да ли је економично пројектовати и градити спрегнуте конструкције са лако-агрегатним бетоном за тржиште републике Србије? Да би се добио одговор на ово питање, на конкретном примеру објекта пројектована је спрегнута конструкција (уз поштовање свих стандарда и прописа за пројектовање ових конструкција из Еврокода) са лако-агрегатним бетоном и са класичним бетоном. Приликом димензионисања сви параметри између две спрегнуте конструкције су задржани исти. Након завршеног димензионисања уследила је анализа утрошених материјала (бетон, арматура, конструкциони челик) и јединичних цена материјала за тржиште републике Србије.*

Кључне речи: *спрегнута конструкција, лако-агрегатни бетон, економска анализа конструкције*

Abstract – *The purpose of this paper is to answer the question of whether it is economically feasible to design and construct composite structures with lightweight aggregate concrete for the market of the Republic of Serbia. To provide an answer, a composite structure was designed (in accordance with all Eurocode standards and regulations for the design of such structures) using lightweight aggregate concrete and conventional concrete, based on a specific building example. During the design process, all parameters between the two composite structures were kept identical. After the design was completed, an analysis was conducted of the quantities of materials used (concrete, reinforcement, structural steel) as well as the unit prices of materials on the Serbian market.*

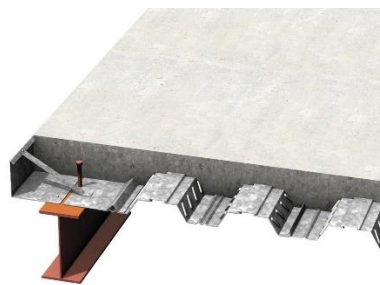
Keywords: *composite structure, lightweight aggregate concrete, economic analysis of the structure*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Ђорђе Јовановић, доцент.

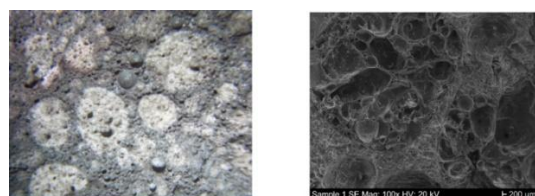
1. Увод

Да би добили одговор да ли је економично примењивати лако-агрегатни бетон за пројектовање и изградњу спрегнутих конструкција, прво ћемо

одговорити на питање шта је то „спрегнута конструкција“ [1] и „лако-агрегатни бетон“ [2]. Под појмом спрегнуте конструкције у нашој грађевинској терминологији се подразумева конструктивно спрезање челика и бетона у једну униформну целину. Разлог за овакво формулисање појма је да је ово најчешћи и најефикаснији начин спрезања два грађевинска материјала. Спрезањем челика и бетона у спрегнутим конструкцијама најбоље су искоришћене добре особине оба материјала. Што се тиче другог појма лако-агрегатни бетон, подразумева се бетон справљан са лаким агрегатима (као што су експандирана глина, природан вулкански камен, перлит, вермикулит, експандирани шкриљац, експандирани полистирен, стаклена влакна, пенасто стакло итд.). Ови бетони имају широку примену за конструктивне и неконструктивне потребе у грађевинарству. У овом раду ће акценат бити на конструктивне лако-агрегатне бетоне.



Слика 1. Спрегнута конструкција на примеру међуспратне плоче [1]



Слика 2. Лако-агрегатни бетон [2]

2. Економичност спрегнутих конструкција

Сада када су нам јасни појмови „спрегнута конструкција“ и „лако-агрегатни бетон“ покушаћемо објаснити предности и мане спрегнутих конструкција

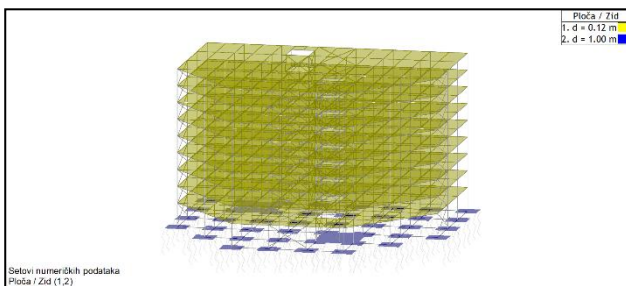
са аспекта економичности у ширем смислу, након тога ћемо на конкретном примеру објекта извршити економску анализу и добити одговор на постављено питање са почетка.

Економичност спрегнутих конструкција се огледа у више аспеката. Комбиновањем челика и бетона користи се мања количина материјала јер су предности оба материјала искоришћени тако да добијемо веома рационалне конструкције. Такође велика предност спрегнутих конструкција из угла економичности је брзина градње. Са бржим завршетком конструкције смањују се трошкови градње, а самим тим објекат се може пре пустити у експлоатацију. Спрегнуте конструкције због своје мање тежине, у односу на армирано-бетонске конструкције, су мање захтевне за фундарање и тиме смањују трошкове фундарања. Спрезањем челика и бетона потреба за против пожарне заштите и антикорозивне заштите се смањује што додатно доприноси смањењу трошкова градње. Као и све конструкције спрегнуте конструкције имају и своје мане које негативно утичу на коштање изградње ових конструкција. Једна од тих мана је потреба за специјализованом опремом, машинама и људством које повећавају цену ових објеката.

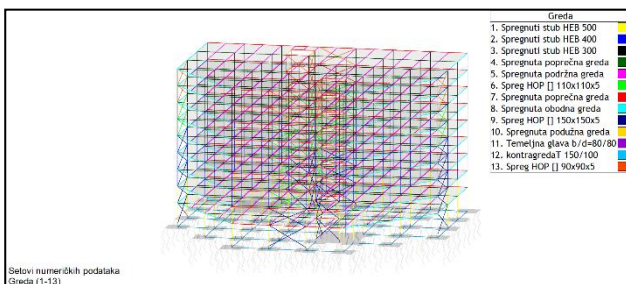
3. Димензионисање

На примеру објекта Пр+8 пројектована је спрегнута конструкција са класичним бетоном и лако-агрегатним бетоном. Основа објекта је шестостогао добијен засецањем два ћошка са једне дужице стране објекта. Објекат има и два лифтовско/степенишна окна за вертикалну комуникацију. Носива конструкција објекта се састоји од спрегнуте плоче, подужних греда, попречних греда, спрегнутих стубова и спрегова.

Моделирање спрегнуте конструкције, као и прорачун утицаја на конструкцију је рађен у софтверском пакету Tower 8, који је заснован на принципу методе коначних елемената МКЕ.



Слика 3. Модел међусpratних плоча и темеља спрегнуте конструкције



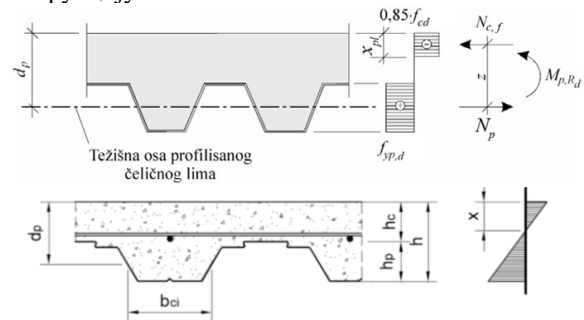
Слика 4. Модел линијских елемената спрегнуте конструкције

Након анализе оптерећења и улазних података за прорачун уследило је димензионисање свих елемената за спрегнуту конструкцију са класичним и лако-агрегатним бетоном. Усвојени елементи конструкције:

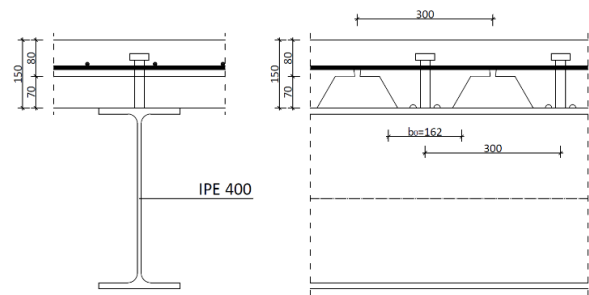
		Класични бетон	Лако-агрегатни бетон
Спрегнута плоча		Комфлор 70 профилисани лим са бетоном и арматуром	Комфлор 70 профилисани лим са бетоном и арматуром
Подни носач		IPE 400	IPE 360
Подвлака		IPE 550	IPE 500
Спрегнути стуб	од 5. до 8. спрата	Спрегнути стуб HEB 300	Спрегнути стуб HEB 260
	од 2. до 4. спрата	Спрегнути стуб HEB 400	Спрегнути стуб HEB 360
	приземље и 1. спрат	Спрегнути стуб HEB 500	Спрегнути стуб HEB 450
Вертикални спрегови	Горњи	HOP [] 90x90x5	HOP [] 90x90x5
	Средњи	HOP [] 110x110x5	HOP [] 110x110x5
	Доњи	HOP [] 150x150x5	HOP [] 150x150x5

Слика 6. Табеларни приказ усвојених профила и пресека

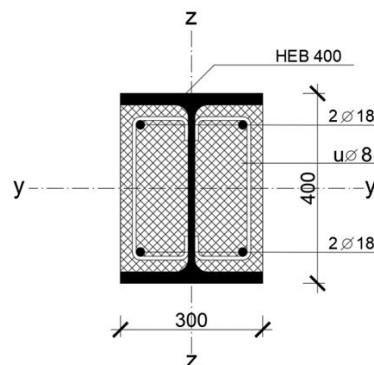
Димензионисање свих елемената извршено је у складу са свим прописима и нормативима из Еврокода. Спрегнута плоча [3] је димензионисана као спрегнута где у попречном пресеку профилисани лим преузима напоне затезања услед савијања, док бетонски део пресека преузима притисак. Подни носач [4] и подвлака заједно са спрегнутом плочом преко можданика преносе оптерећење на спрегнуте стубове [5] који даље оптерећење преносе на темељну конструкцију.



Слика 5. и 6. спрегнута међусpratна плоча [3]



Слика 7. спрегнути подни носач [4]



Слика 8. спрегнути стуб (од 2. до 4. спрата) [5]

4. Предмер спрегнуте конструкције

Након завршеног димензирисања спрегнуте конструкције од класичног и лако-агрегатног бетона потребно је урадити предрачун конструкције да би добили количине утрошеног материјала у оба случаја.

4.1. Спрегута конструкције са класичним бетоном

Рекапитулација количине материјала					
Материјал	γ [kN/m ³]	O [m ²]	P [m ²]	V [m ³]	m [T]
Челик	78.500	18348		131,99	1056,6
C 30/37	25.000	5046,2	997.00	1831,5	4669,1
C 30/37 gr	0.000	40481	21780	2655,27	0.000
Укупно:		62791	22777	4618,76	5725,7

Слика 9. количине материјала спрегнуте конструкције са класичним бетоном добијене из програма

Бетон из таблице са ознаком C 30/37 gr је у таблицу са запреминском тежином 0, јер је његова тежина урачуната у сопствено оптерећење. Утрошена арматура за конструкцију је посебно израчуна и износи:

	Арматура
Спрегнута плоча	197700,3kg
Спрегнути стубови	23566,7 kg
Укупно	221267 kg

Слика 10. количина арматуре

4.2. Спрегнута конструкција са лако-агрегатним бетоном

Рекапитулација количине материјала					
Материјал	γ [kN/m ³]	O [m ²]	P [m ²]	V [m ³]	m [T]
Челик	78.500	17155		115.07	921.12
C 30/37	25.000	4380.7	997.00	1739.1	4433.4
C 30/37 gr	0.000	41255	21780	2655.27	0.000
Укупно:		62791	22777	4509.44	5354.5

Слика 11. количине материјала спрегнуте конструкције са лако-агрегатним бетоном добијене из програма

Лако-агрегатни бетон, као и у случају са класичним бетоном, из таблице са ознаком C 30/37 gr је у таблицу са запреминском тежином 0, јер је његова тежина урачуната у сопствено оптерећење. Утрошена арматура за конструкцију је посебно израчуна и износи:

	Арматура
Спрегнута плоча	197700,3kg
Спрегнути стубови	21684,6 kg
Укупно	219385 kg

Слика 12. количина арматуре

5. Анализа утрошеног материјала и цена спрегнуте конструкције

Сада када је завршен предрачун спрегнуте конструкције можемо приступити анализи утрошеног материјала и самој цени спрегнуте конструкције са класичним и лако-агрегатним бетоном. Количина челика употребљена за израду спрегнуте конструкције са класичним бетоном је **1056,6t**, док је количина челика употребљена за израду спрегнуте конструкције са лако-агрегатним бетоном је **921,12t**. Коришћењем лако-агрегатног бетона за пројектовање конструкције

смањила се потреба за употребом пројектног челика за **135,48t** или **12,9%**. Количина употребљеног бетона за плоче (међуспратне и кровну плочу) за обе конструкције је **2655,27m³**, док је количина бетона употребљена за темељну конструкцију **1831,5 m³** и **1739,01 m³**. Коришћењем података из анализе утрошеног материјала спрегнуте конструкције са класичним и лако-агрегатним бетоном можемо приступити економској анализи и упоредби обе спрегнуте конструкције:

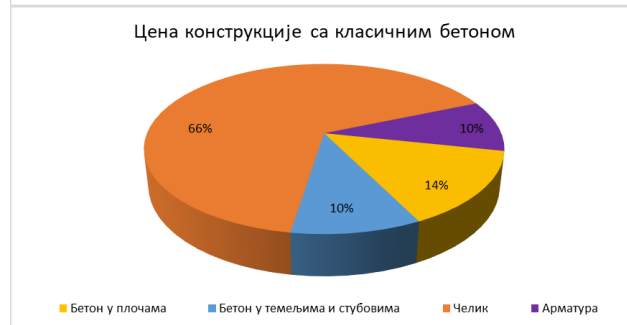
	Класични бетон		
	Количина	Јединична цена	Коначна цена
Бетон у плочама	2655,27	215 €	570.883 €
Бетон у темељима и стубовима	1831,5	215 €	393.773 €
Челик	1056,6	2.500 €	2.641.500 €
Арматура	221267	1,75 €	387.217 €
Укупно=			3.993.373 €

	Лако-агрегатни бетон		
	Количина	Јединична цена	Коначна цена
Лако-агрегатни бетон у плочама	2655,27	235 €	623.988 €
Бетон у темељима и стубовима	1739,01	215 €	373.887 €
Челик	921,12	2.500 €	2.302.800 €
Арматура	219385	1,75 €	383.924 €
Укупно=			3.684.599 €

Уштеда	308.773 €
--------	-----------

Слика 13. Економска анализа спрегнуте конструкције са класичним и лако-агрегатним бетоном

Као што се да приметити спрегнута конструкција са лако-агрегатним бетоном изискује мање трошкове набавке и уградње у односу на спрегнуту конструкцију са класичним бетоном. Највећи удео у укупној цени конструкције је конструкциони челик (подни носачи, подвлаке, стубови и спреглови). Упркос већој цени лако-агрегатног бетона јавила се велика уштеда због смањене количине челика.



Слика 14. и 15. приказ удела свих материјала у укупној цени спрегнуте конструкције са класичним бетоном [6]



Слика 16. и 17. приказ удела свих материјала у укупној цени спрегнуте конструкције са лако-агрегатним бетоном [7]

6. Закључак

На почетку постављено питање је било: да ли је економично примењивати лако-агрегатни бетон за пројектовање и изградњу спрегнутих конструкција? На основу резултата димензионисања, предмера, анализе утрошеног материјала и цене спрегнуте конструкције, закључак је да јесте економично пројектовати спрегнути објекат са лако-агрегатним бетоном. Упркос већој цени лако-агрегатног бетона у односу на класични бетон, оправдава се употреба истог јер се количина конструкционог челика значајно смањила, што се одразило и на укупну цену, што се може приметити у дијаграмима [6][7].

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] European Committee for Standardization. (2005). *EN 1994-1-1: Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. CEN.
- [2] European Committee for Standardization. (2004). *EN 1992-1-1: Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. CEN.
- [3] Spremić, M. (2021). *Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona: Zbirka zadataka*. Beograd: Akademska misao.

Кратка биографија:



Зоран Петковић рођен је 23.09.1997. у Новом Саду. Студент је мастер академских студија грађевинарства. Тренутно запослен у грађевинској фирми ROYAL ANTIKOR ДОО.
Контакт:
zpetkovic97@gmail.com

Процена стања и енергетска санација Дома културе у Змајеву

Condition Assessment and Energy Rehabilitation of the Cultural Center Building in Zmajevo

Јована Лековић, Факултет техничких наука, Нови Сад/

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Рад се састоји из теоријског и практичног дела. У теоријском делу описан је механизам и утицај капиларне влаге на детериорацију зидова и могуће методе санације. У практичном делу урађена је процена стања зграде Дома културе у Змајеву и прорачун потребне енергије за грејање за постојеће стање са предлогом одговарајућих мера енергетске санације. Затим је урађен и прорачун потребне енергије за грејање након предвиђених санационих мера.

Кључне речи: процена стања, дефекти, оштећења, енергетска ефикасност, енергетска санација

Abstract – The paper consists of a theoretical and a practical part. In the theoretical part, the mechanism and influence of capillary moisture on the deterioration of walls are described, along with possible intervention methods. In the practical part, an assessment of the condition of the Cultural Center building in Zmajevo was carried out, as well as a calculation of the required heating energy for the existing state, with proposed appropriate energy rehabilitation measures. Furthermore, a calculation of the required heating energy after the proposed remediation measures was performed.

Keywords: condition assessment, defects, damage, energy efficiency, energy rehabilitation

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

1. КАПИЛАРНА ВЛАГА У ЗИДОВИМА

Капиларност је способност материјала да упије неку течност продирањем и упијањем те течности у поре и шупљине материјала. Висине пењања воде у веома финим капиларним цевчицама могу да буду изузетно велике. Један од карактеристичних и најчешћих примера капиларног упијања је влажење зидова у контакту са водом у тлу.

1.1. Облици физичке детериорације зидова у присуству влаге

Неки од облика физичке детериорације услед дејства влаге у зидовима су:

- Кристализација соли
- Оштећења услед дејства мраза
- Хемијска корозија
- Биолошка корозија

У зидовима зиданих зграда, влага се може појавити као последица:

- Воде у тлу
- Атмосферских падавина
- Квара на инсталацијама водовода, канализације и топловода

1.2. Технике санације зидова од капиларне влаге

Најчешће коришћене технике су:

- Пресецање зидова или постављање водонепропусних баријера
- Инјектирање хидрофобних емулзија
- Наношење исушивих паропропусних малтера
- Електроосмоза
- Загревање зидова
- Израда дренажних канала

2. ПРЕДМЕТ РАДА

Предмет анализе овог рада је зграда Дома културе у Змајеву. Годином изградње сматра се 1955/56. година, али од 2009. године објекат више није у употреби. Изглед, конструкција и функција предметног објекта су нарушени због вишегодишње неексплоатације, као и због неадекватног одржавања.



Слика 1. Дом културе

2.1. Техничка својства објекта

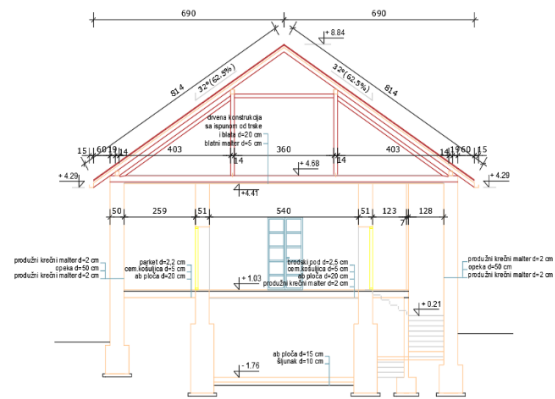
Дом културе је објекат спратности сутерен, приземље и галерија (Су+П+Г), укупне нето површине 564,76 m² и укупне БРГП 713,10 m².

Конструкција

Објекат је зидана, масивна конструкција, са зиданим тракастим темељима. Спољашњи, фасадни зидови објекта су зидани од пуне опеке, дебљине $d=50$ cm, малтерисани продужним кречним малтером у слоју од

2 cm, обострано. Унутрашњи зидови су зидани од пуне опеке дебљине 12, 30 и 50 cm и малтерисани су и бојени. Подна плоча је армирано-бетонска, дебљине $d=20$ cm. Међуспратна конструкција је од дрвених греда димензија 16/20 cm, испуњених трском и малтерисана блатним малтером са доње стране, укупне дебљине $d=25$ cm. Кровна конструкција је класична дрвена и покривена је бибер црепом. Кров је коси, двоводни и нагиба 30° . Спратна висина је различита и креће се од 3,38-5 m у приземљу, од 2,45-2,54 m у сутерену, док је на галерији од 2,12-2,70 m.

Карактеристичне основе (сутерена, приземља и галерије) и попречни пресек дати су на сликама 2-5.



Слика 5. Попречни пресек

3. ПРОЦЕНА СТАЊА ОБЈЕКТА

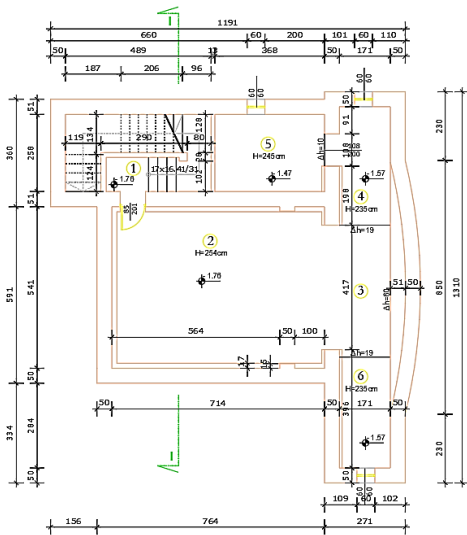
Изласком на терен, извршена је детаљна визуелна процена стања објекта. Фотодокументацијом су забележена оштећења и дефекти на конструкцији, а уједно је урађено и мерење самог објекта, с обзиром на то да не постоји никаква пројектна документација, те је потребно израдити и цртеже свих релевантних основа, попречних пресека и изгледа фасада. Визуелним прегледом су снимљене северна, западна и источна фасада. Јужна фасада нема прилаз, јер се налази на дилатацији.

Уочена оштећења на фасадама и спољашњим деловима објекта:

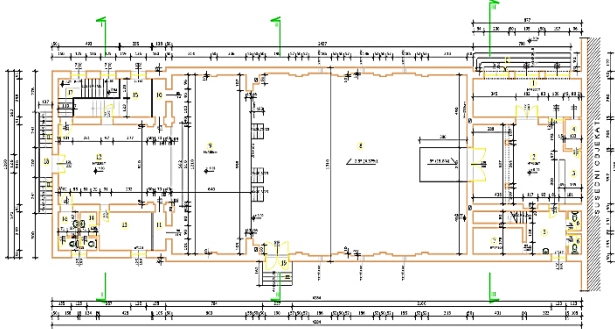
- Површинско оштећење делова зидова – отпадање завршног слоја
- Оштећења у виду отпадања делова бетона и удубљења
- Вертикална пасивна пукотина на средини бетонског лука
- Биолошка корозија
- Љускање завршног премаза фасаде
- Пукотине и прслине у подној плочи на улазу у објекат

Уочена оштећења у унутрашњости објекта:

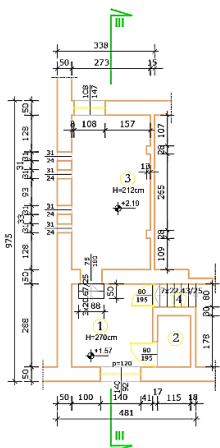
- Флеке од влаге
- Љускање завршног слоја са зидова и плафона
- Огољење шипки арматуре на степеништу, услед недовољне дебљине заштитног слоја бетона
- Прслине и пукотине



Слика 2. Основа сутерена



Слика 3. Основа приземља



Слика 4. Основа галерије



Слика 6. Оштећења подне плоче на улазу у објекат са источне стране, пукотине и прслине



Слика 7. Оштећења на западној фасади, отпадање материјала - механичка оштећења, отпадање малтерске облоге, испирање малтерских спојница

3.1 Закључак о регистрованом стању конструкције

Извршеним прегледом зграде у целини, може се закључити да је њена употребљивост у потпуности нарушена, док су стабилност и носивост објекта, глобално очуване, док је појединим елементима носивост локално угрожена.

4. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА

Након процене стања објекта израђен је елаборат енергетске ефикасности постојећег стања објекта, у складу са Правилником о енергетској ефикасности зграда („Службени гласник РС”, број 61/2021).

Прорачун је рађен на нетранспарентним позицијама (2 типа спољашњих зидова, 2 типа подне плоче, под изнад сутерена и међуспратна конструкција) и транспарентним позицијама (prozори и врата).

У табели 1 приказане су вредности коефицијената пролаза топлоте кроз нетранспарентне и транспарентне површине.

Табела 1. Коефицијенти пролаза топлоте – постојеће стање

Положај	Ознака	U [W/m²K]	U _{max} [W/m²K]	Испуњено (да/не)
Спољашњи зид	С31	0,577	0,4	НЕ
Зид на дилатацији	С32	0,564	0,5	НЕ
Под на тлу	П1	0,324	0,4	ДА
Под на тлу (тоалет)	П2	0,842	0,4	НЕ
Плоча изнад сутерена	П3	1,26	0,4	НЕ
Међуспратна конструкција испод негрејаног простора	МК	0,39	0,4	ДА
СПОЉНА ВРАТА	ВР1	2,14	1,5	НЕ
	ВР2	1,98		
	ВР3	2,00		
ПРОЗОРИ	ПР1	1,91	1,5	НЕ
	ПР2	1,86		
	ПР3	2,40		
	ПР4	1,79		
	ПР5	1,84		
	ПР6	1,86		
	ПР7	2,12		

На графику 1 приказане су годишње количине енергије потребне за грејање по месецима за постојеће стање.

Даљим прорачуном, долази се до закључка да објекат припада енергетском разреду Д (табела 2).



График 1. Графички приказ потребне енергије за грејање по месецима за постојеће стање

Табела 2. Табела енергетских разреда и разред који одговара предметном објекту у постојећем стању

Зграде намењене култури и образовању	Постојеће	
Енергетски разред	Q _{H,nd,rel} [%]	Q _{H,nd} [kWh/(m²a)]
A+	≤ 10	≤ 12
A	≤ 25	≤ 20
B	≤ 50	≤ 38
Ц	≤ 100	≤ 75
Д	≤ 150	≤ 113
Е	≤ 200	≤ 150
Ф	≤ 250	≤ 188
Г	> 250	> 188

Грејање без прекида	Q _{H,nd} =	53748,14 kWh/a
	Q _{H,nd,m²} =	114,31 kWh/m²a
	Q _{H,nd,rel} =	152,4 %
Разред: Д		
Грејање са прекидом	a _{H,nd} =	0,900
	Q _{H,nd,intern} =	48373,3 kWh/a
	Q _{H,nd} =	102,88 kWh/m²a
	Q _{H,nd,rel} =	137,2 %

5. МЕРЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ И ЕНЕРГЕТСКУ САНАЦИЈУ ОБЈЕКТА

У циљу побољшања енергетске ефикасности и отклањања узрока оштећења зграде, предвиђају се следеће архитектонско-грађевинске мере санације на термичком омотачу зграде:

- Изводи се поступак пресецања фасадних зидова, како би се отклонио проблем капиларног пењања влаге.
- На свим спољашњим, фасадним зидовима С31, осим зида на дилатацији С32, предвиђа се постављање ETICS система на бази минералне вуне.
- Врши се замена постојеће кровне конструкције, као и кровног покривача, како би се отклонио главни узрок насталих оштећења на објекту.
- Планирано је подашчавање таванских греда међуспратне конструкције и постављање термоизолације од камене вуне, а потом и израда цементне кошуљице на нивоу тавана. Са доње стране међуспратне конструкције, ка грејаном простору, постављају се гипс-картонске плоче и преко њих се наноси танак слој кречног малтера.
- Уклања се комплетна подна облога са позиција – плоча изнад сутерена П3, под на тлу П2 и под на тлу П1, а затим се поставља термоизолација у виду камене вуне, уз израду нове цементне кошуљице. Са доње стране плоче изнад сутерена П3, постављају се полистирен плоче, као термоизолација. На подној плочи која припада тоалетима, лепе се нове керамичке плочице, на поду изнад сутерена се поставља нови бродски под и на поду П1 нови паркет.
- Монтира се нова фасадна столарија, са алуминијумским рамом са термичким прекидом и нискоемисионим двослојним застакљењем 4+12+4 mm са криптоном.

6. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ САНИРАНОГ ОБЈЕКТА

Након предложених мера санације и побољшања енергетског разреда објекта, израђен је елаборат енергетске ефикасности санираног објекта, у складу са Правилником о енергетској ефикасности зграда („Службени гласник РС”, број 61/2021).

Прорачун је рађен на нетранспарентним позицијама (2 типа спољашњих зидова, 2 типа подне плоче, под изнад сутерена и међусpratна конструкција) и транспарентним позицијама (прозори и врата).

У табели 3 приказане су вредности коефицијената пролаза топлоте кроз нетранспарентне и транспарентне површине.

Табела 3. Коефицијенти пролаза топлоте – санирано стање

Положај	Ознака	U [W/m²K]	U _{max} [W/m²K]	Испуњено (да/не)
Спољашњи зид	S31	0,134	0,4	ДА
Зид на дилатацији	S32	0,564	0,5	НЕ
Под на тлу	P1	0,168	0,4	ДА
Под на тлу (тоалет)	P2	0,247	0,4	ДА
Плоча изнад сутерена	P3	0,17	0,4	ДА
Међусpratна конструкција испод негрејаног простора	МК	0,10	0,4	ДА
СПОЉНА ВРАТА	ВР1	1,36	1,5	ДА
	ВР2	1,29		
	ВР3	1,30		
ПРОЗОРИ	ПР1	1,26	1,5	ДА
	ПР1	1,24		
	ПР3	1,45		
	ПР4	1,21		
	ПР5	1,23		
	ПР6	1,24		
	ПР7	1,33		



График 2. Графички приказ потребне енергије за грејање по месецима – санирано стање

На графику 2 приказане су годишње количине енергије потребне за грејање по месецима за санирано стање.

Након даље анализе и имплементирања ових података у основни прорачун, утврђено је да објекат припада енергетском разреду Ц (табела 5).

Табела 5. Табела енергетских разреда и разред који одговара овом објекту у санираном стању

Зграде намењене култури и образовању		Постојеће	
Енергетски разред	Q _{H,nd,rel} [%]	Q _{H,nd} [kWh/(m²a)]	
A+	≤ 10	≤ 12	
A	≤ 25	≤ 20	
B	≤ 50	≤ 38	
Ц	≤ 100	≤ 75	
D	≤ 150	≤ 113	
E	≤ 200	≤ 150	
F	≤ 250	≤ 188	
G	> 250	> 188	

Грејање без прекида	Q _{H,nd} =	27152,78	kWh/a
	Q _{H,nd} =	57,75	kWh/m²a
	Q _{H,nd,rel} =	78,0	%
Разред:		Ц	
Грејање са прекидом	Q _{H,nd,inter} =	0,900	
	Q _{H,nd,inter} =	24437,5	kWh/a
	Q _{H,nd} =	51,97	kWh/m²a
	Q _{H,nd,rel} =	69,3	%

7. ЗАКЉУЧАК

Спроведеном прорачунском анализом енергетске ефикасности зграде закључено је да зграда припада енергетском разреду Д. Након санације, енергетски разред објекта је побољшан за један разред у односу на претходно стање.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] URSA. (.). Производи. Преузето са <https://www.ursa.rs/sr-latn-rs/proizvodi/extruded-polystyrene/>
- [2] Лукић И., Булатовић В. (2021). Енергетска ефикасност и сертификација грађевинских објеката, вежбе. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [3] Малешев М., Радоњанин В. (2014). Трајност и процена стања бетонских конструкција. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [4] Малешев М., Радоњанин В. (2019). материјал са предавања - Санација бетонских конструкција. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [5] Малешев М., Радоњанин В. (2021). предавања на тему Енергетска ефикасност и сертификација грађевинских објеката. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [6] Радоњанин В., Малешев М., Кочетов-Мишулић Т., Лекић Р. (.). материјал са предавања - Оштећења и санације дрвених, челичних и зиданих конструкција. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [7] Сл. гласник РС, бр. 61/2011. (2011). ПРАВИЛНИК О ЕНЕРГЕТСКОЈ ЕФИКАСНОСТИ ЗГРАДА. Преузето са <https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-energetskoj-efikasnosti-zgrada.html>

Кратка биографија:



Јована Лековић рођена је у Новом Саду 1996. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарства – Санација бетонских конструкција одбранила је 2025. год.

контакт: jovanalekovic023@gmail.com

Идејно решење наводњавања пољопривредног земљишта „Агролика“ Бачки Грачац

Conceptual Design of Irrigation for Agricultural Areas „Agrolika“ Bački Gračac

Драгана Бркић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – У раду је приказана методологија пројектовања система за наводњавање пољопривредне површине од 1160 ha у Бачком Грачацу, његова функционалност и примена. Применом теоријских основа које прати хидротехничко решење, преко водног биланса земљишта, климатских услова, адекватне механизације, и на крају хидрауличког прорачуна, те графичких прилога дошло се до идејног решења којим је реализован овај рад.

Кључне речи: систем за наводњавање, центар пивот, линеар, тифон

Abstract - The paper presents the methodology of designing a system for irrigation of an agricultural area of 1160 ha in Bački Gračac, 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, linear, typhoon

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор доц. др Горан Јефтенић.

1. УВОД

Хидротехничке мелиорације су скуп хидротехничких и агротехничких мера, активности и грађевина којима се остварују оптимални услови за развој биљака.

Хидротехничке мелиорације имају за циљ да оптимизују коришћење воде, спрече штетне последице попут поплава или суше и повећавају продуктивност и одрживост околине.

Основна подела хидротехничких мелиорација је на: наводњавање и одводњавање[1].

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.

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 (IIa), као и земљишта класе III које траже делимичне (IIIa) или комплексне мелиорације (хидро, агро и хемијске – IIIб) [1]. 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 две класе учествују са око 48%, а на Водном подручју “Морава” I, II и IIIa класа чине око 16% [1].

3. РЕЖИМ НАВОДЊАВАЊА

3.1. Потребне количине воде при наводњавању

У нашим климатским условима потреба за наводњавањем читава 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 [3].

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. Прорачун потреба у води

Потребе у води се изражавају преко евапотранспирације, где је евапорација у односу на транспирацију израженија на почетку вегетационог периода. Евапотранспирација се одређује директно мерењем 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 хидролошки 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 [1].

3.5. Оптимални интервал влажности и заливна норма

Врло често се у пређашњем периоду сугерисало да је доњи интервал оптималне влажности на нивоу лентокапиларне тачке, тј. прекида капиларног кретања воде. У новије време, 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 примени наводњавања. Наиме, потребно је одредити почетак наводњавања.

Полазећи од елемената који служе код одређивања времена заливања, методе за његово одређивање могу се поделити у 3 групе:

- Земљиште – према влажности земљишта
- Биљка – према критичном периоду за воду у фази развоја, као и према спољашњим и унутрашњим променама на биљкама
- Евапотранспирација – према обрачуну свакодневног утрешка 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 просечан хидромодул у вегетационом периоду који је једнак:

$$q = \frac{\sum m}{T_n} \quad (1)$$

4.2. Турнус наводњавања

Представља време између два наводњавања, тј. време за које ће уређај за наводњавање поново да се врати у почетни положај и започне нови циклус.

У условима умерене климе на нашим подручјима турнуси се крећу 8-10 дана. Међутим, због појаве краћих топлотних удара где дневна потрошња може да буде преко 5mm/дан, стање влажности тла треба проверавати на сваких 5-6 дана[3].

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 вештачких водотока,
- језера и акумулација,
- захватом подземних вода и
- коришћењем отпадних вода (све актуелније)[2].

5.2. 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 предвидети дистрибуциона мрежа. Овај елемент заливног система врло често представља и његов главни елемент[2].

6. ТЕХНИКЕ НАВОДЊАВАЊА

Постоје различите технике наводњавања:

- Површинско наводњавање
- Наводњавање вештачком кишом
- Локализовано наводњавање, односно систем „кап по кап“
- Подземно наводњавање

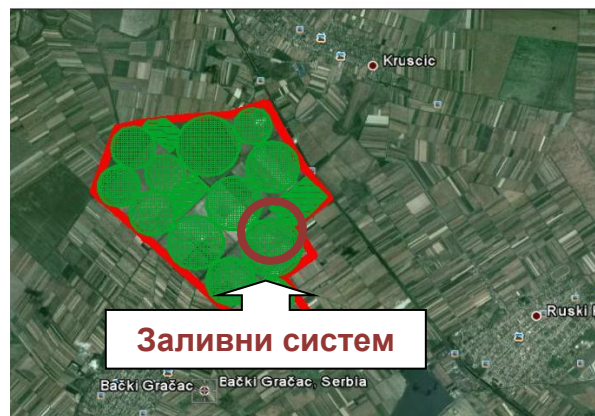
У раду је изабрано наводњавање вештачком кишом. Уређај за кишење који је усвојен у овом раду је комбинација центар пивота и тифонима. На предметним парцелама за наводњавање је предвиђено дванаест центар пивота и пет тифона. Распоред и дужине машина су диктирали топографија терена.

7. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

7.1. Увод

Целокупна површина система је обрадива и на њој се гаје претежно ратарске културе. Релјеф предметних површина за наводњавање је миран са глобалним падом од запада ка истоку.

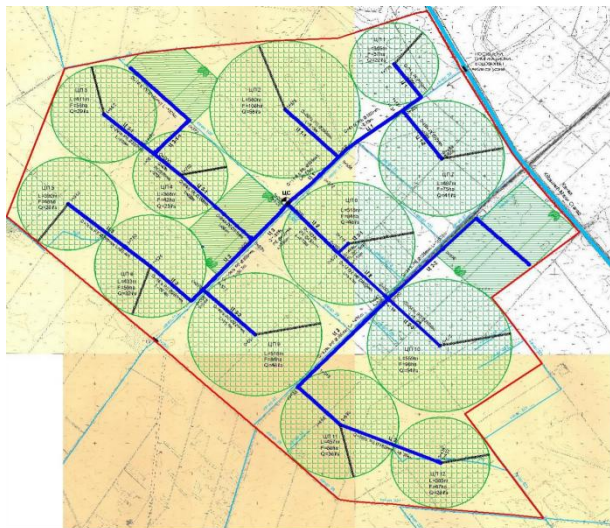
Површину система чине табле правилног геометријског облика које раздвајају само општински земљани путеви. Из тог разлога предметна површина је третирана као обрадиви комплекс под заливним системом. Укупна површина система је 1160ha.



Слика 1. Прегледна ситуација

Заливни систем „Агролика“ Бачки Грачац налази се у К.О. Бачки Грачац, североисточно од канала Косанчић-Мали Стапар и југозападно од пута Руски Крстар-Бачки Грачац. Машине се снабдевају водом из акумулације „Мали Стапар“.

У висинском погледу систем се налази између кота 85,50mm на северу и 83.5 mm на јужном крају система.



Слика 2. Прегледна ситуација заливног система „Агролика“ Бачки Грачац

Укупна површина система је 1160ха. Због топографије терена, облика парцела и укрштања са атарским путевима, према одабраном решењу, могуће је наводњавати 78% површина савременом опремом за наводњавање односно 904ха.

7.2. Хидротехничко решење

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 месечни дефицит воде.

На каналу Косанчић-Мали Стапар је устава са табластим затварачем димензија 1080*1000мм.

Од устава до уливне грађевине вода дотиче бетонским цевоводом Ø800, дужине 10м.

Потребна количина воде за одабрано техничко решење је 500 л/с.

Довод воде до центра система се обезбеђује гравитационим течењем каналом 32. На десној обали канала 32, предвиђена је изградња црпне станице.

Из црпне станице излази укопани челични цевовод Ø600мм. На удаљености 6м од црпне станице је предвиђен мерни шахт у коме је смештен мерач протока.

7.3. Дистрибутивни цевовод

Дистрибутивни цевовод за напајање кишних уређаја је од полиетиленских цеви ПЕ-100 за притисак до 6 бара.

Укупна дужина дистрибутивних цевовода износи 13935м. Од црпне станице иду три гране цевовода. Цевовод Ц-1 је пречника Ø160, Ø280 и Ø355 са две секундарне гране пречника Ø225 и Ø250. Цевовод Ц-2 је пречника Ø180, Ø280, Ø400 и Ø450 и има три секундарне гране пречника Ø225 и Ø250. Цевовод Ц-3 је Ø200, Ø280, Ø355 и Ø450 и има две секундарне гране пречника Ø200, Ø250, Ø280 и Ø315 и једну терцијалну грану пречника Ø160.

8. ВОДНИ БИЛАНС ЗЕМЉИШТА

8.1. Анализа основних климатских елемената који улазе у прорачун водног биланса земљишта

Основни климатски елементи који су потребни за израчунавање водног биланса земљишта су средње месечне температуре ваздуха и месечне суме падавина.

Падавине представљају један од основних чинилаца раста и развића биљака, јер су основни снабдевач 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)[1].

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 Thornthwaite-а, који је добро прилагођен за умерене 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 акумулација воде у земљишту, а у летњем 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, тако да се у децембру, јануару, фебруару и марту јављају вишкови воде.

8.3. Хидромодул заливања

Хидромодул заливања је срачунат тако да може бити надокнађен месечни дефицит влаге од 130 mm.

Рачунато је за месец август, јер она има већи дефицит од месеца јула.

$$q = N/T = 130 \times 10 \times 1000 / 30 \times 24 \times 3600 = 0,5 \text{ l/s/ha}$$

Обезбеђивање довољних количина воде за биљке имаће пуни ефекат наводњавања само ако се заливање обави правовремено.

Време заливања обухвата момент правовременог заливања који се може утврдити и свакодневним обрачуном утрошка воде евапотранспирацијом. Није грешка чак и ако се примене обе поменуте методе истовремено.

Методом унапред одређених турнуса заливања по времену користи се шаблон, који се може утврдити у променљивим климатским условима. Код примене турнуског заливања морају се узети у обзир и падавине које се јављају између утврђених турнуса, због чега се турнус мора продужити за неколико дана или се изоставља.

Падавине до 10 мм по правилу не ремете план заливања и даје се пуна заливна норма, као да кише није ни било, кише од 10-25мм одлажу заливање за 5-10 дана а падавине веће од 30мм одлажу цео један турнус заливања.

8.4. Хидраулички прорачун

Хидраулички прорачун система за наводњавање урађен је помоћу програмског пакета "EPANET". Прорачун је извршен за максимално оптерећење система, при раду свих уређаја за заливање. Одређене су потребне карактеристике саме пумпе и обезбеђени потребни притисци на крајевима самог система (кишних уређаја) ради њиховог нормалног функционисања.

9. ЗАКЉУЧАК

У овом мастер раду, обављена је комплексна анализа потреба и могућности за унапређење система наводњавања на пољопривредном земљишту у подручју . У мастер раду посветила се посебна пажња различитим факторима који се односе на ефикасност и одрживост система наводњавања, где су посебно анализирани географски и климатски услови, водни ресурси који су на располагању, као и типови пољопривредних култура.

Анализиране су различите технике наводњавања, укључујући кап по кап системе, површинско наводњавање, подземно наводњавање, као и наводњавање вештачком кишом. Сагледане су потенцијалне машине, те је усвојен систем са дванаест центар пивота и пет тифона.

Овај рад представља значајан корак ка унапређењу пољопривредне производње на подручју Бачки Грачац. Идејно решење за систем наводњавања и избор система са дванаест центар пивота и пет тифона 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 изнудило решење 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] Др Димитрије Авакумовић. „Хидротехничке мелиорације Одводњавање“. Грађевинска књига.

Кратка биографија:



Драгана Бркић рођена је у Лозници 1999. године. Мастер рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, на смеру Грађевинарство – Хидротехника одбранила је у децембру, 2025. године.

Контакт:

draganastojanovic058@gmail.com

Утицај *BIM* технологије на смањење ризика од повреда на раду у грађевинарству

The Impact of BIM Technology on Reducing the Risk of Injuries at Work in Construction

Марко Баковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај — У индустрији архитектуре, инжењерства и грађевинарства (АЕС) постоји општи договор да имплементација информационог моделирања зграда (*BIM*) мења начин на који се пројекти изводе. *BIM* методе нуде значајне предности у поређењу са традиционалним радним процесима заснованим на папиру или дводимензионалним цртежима.

Кључне речи: *BIM* технологија, заштита на раду, безбедност.

Abstract— There is general agreement in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry that the implementation of Building Information Modeling (BIM) is changing the way projects are executed. BIM methods offer significant advantages compared to traditional work processes based on paper or two-dimensional drawings.

Keywords: BIM technology, safety at work, safety.

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

1. УВОД

Грађевинске компаније већ неко време користе *BIM*, истичући његове предности у смислу уштеде трошкова, побољшања рокова испоруке пројеката и изградње бољих зграда уопште, али шта је са његовим утицајем на здравље и безбедност?

Циљ рада је да се утврди како *BIM* може позитивно утицати на безбедност и здравље на раду током изградње. У том контексту, прво је потребно разградити потенцијал коришћења *BIM* -а у вези са безбедношћу и здрављем на раду. Стога, тренутне примене које се фокусирају на употребу *BIM* -а за безбедност и здравље на раду треба детаљно истражити.

2. ИНФОРМАЦИОНО МОДЕЛИРАЊА ЗГРАДА

BIM (Building information modeling) је нови универзални језик архитектуре, грађевинарства и покретач дигиталне трансформације грађевинског

сектора у Европи и свету. Информационо моделирање зграда заснива се на идеји континуиране употребе дигиталних модела зграда током целог животног циклуса изграђеног објекта, почевши од раних концептуалних и детаљних фаза пројектовања, преко фазе изградње, до дуге фазе рада.^[1]

BIM значајно побољшава проток информација између заинтересованих страна укључених у свим фазама, што резултира повећањем ефикасности смањењем мукотрпног и грешком склоног ручног поновног уноса информација, који доминира конвенционалним папирним токовима рада. Захваљујући својим бројним предностима, *BIM* се већ примењује у многим грађевинским пројектима широм света. Међутим, фрагментирана природа грађевинске индустрије и даље омета његову ширу употребу. Владине иницијативе широм света играју важну улогу у повећању усвајања *BIM*-а: као највећи клијент грађевинске индустрије у многим земљама, држава има моћ да значајно промени своје радне праксе. Ово поглавље разматра мотивацију за примену *BIM*-а, нуди детаљну дефиницију *BIM*-а заједно са прегледом типичних случајева употребе, описује уобичајене степене зрелости *BIM*-а и извештава о нивоима усвајања *BIM* а у различитим земљама широм света.

2.1. Предности *BIM* -а

BIM (Building information modeling) јесте процес стварања и управљања пројектним подацима у току саме разраде пројекта. *BIM*, за разлику од класичног CAD концепта, превазилази доживљај пројекта као обичног цртежа и прелазак са обичног CAD софтвера на *BIM* није проста промена истог радног окружења већ улазак у сасвим нови свет са невероватним могућностима.

Предности *BIM* -а су:^[2]

- боља визуелизација,
- унапређена продуктивност због једноставне измене информација,
- боља координација свих пројектних докумената,
- додавање и повезивање кључних информација (спецификација материјала, положај и детаља и параметри количина потребни за наруџбину и прорачун трошкова)
- брже пројектовање смањење трошкова.

2.2. Имплементација у Републици Србији

За бржу и ефикаснију имплементацију *BIM*-а у Србији залаже се и удружење *BIM* Србија, које је основано у априлу 2017. године у Београду. Главни циљ удружења је подизање ефикасности грађевинске индустрије уопште кроз примену и стандардизацију *BIM* технологије. Такође, удружење ради и на умрежавању, повезивању и узајамној сарадњи између академских експерата, инжењера, ентузијаста и других заинтересованих појединаца у области *BIM*-а, као и на стандардизацији ове технологије и њене примене, сарадњи са јавним установама, институцијама и удружењима у земљи и иностранству које се баве сличним делатностима. План удружења је био да до 2022. године *BIM* софтвер (*Building Information Modeling*) постане обавезан у Србији.^[3]

3. УТИЦАЈ *BIM* ТЕХНОЛОГИЈЕ НА СПРЕЧАВАЊЕ ПОВРЕДА НА РАДУ УЗ ИНТЕГРАЦИЈУ РОБОТИКЕ

Утицај *BIM* технологије на спречавање повреда на раду у грађевинарству уз интеграцију роботике представља једну од најперспективнијих области савремене градитељске индустрије. Традиционални системи безбедности на градилиштима заснивају се на периодичним инспекцијама, визуелном надзору и ручном идентификовању опасности, што оставља простор за људске грешке и непредвиђене ситуације. *BIM* (*Building Information Modeling*), међутим, уводи концепт дигиталног градилишта, где се сви процеси, објекти и ризици могу виртуелно симулирати, анализирати и оптимизовати пре него што се појаве на терену. Овакав приступ омогућава раније препознавање критичних зона, интеграцију сензора и аутоматизованих система, као и директно управљање роботизованом опремом која може одговорити у реалном времену на безбедносне изазове.

BIM модели омогућавају тродимензионалну визуализацију грађевинског процеса, али и много више од тога: они садрже податке о материјалима, фазама изградње, привременим конструкцијама и потенцијалним ризицима по раднике.

Коришћењем *BIM* софтвера могуће је идентификовати делове градилишта са повећаним ризиком – на пример зоне у којима се изводе радови на висини, простори у близини тешке механизације, места са могућим урушавањима или локације на којима се генерише велика количина прашине и штетних честица. Ове информације се затим могу интегрисати са платформама за аутоматизацију и роботiku, омогућавајући роботима да се крећу кроз унапред дефинисане критичне зоне и обављају надзор, детекцију или заштиту радника.

Интеграцијом роботике и *BIM* технологије стварају се аутономни или полуаутономни системи који функционишу као стални чувари безбедности на градилишту.

Још један важан аспект повезаности *BIM* -а и роботике јесте могућност динамичког ажурирања *BIM* модела у реалном времену. Роботи који спроводе надзор могу користити *LiDAR*, камере или скенере да

мапирају стварно стање градилишта и упореде га са планираним моделом из *BIM* базе података. Ова интеграција омогућава аутоматско препознавање одступања, као што су неочекиване препреке, недовољно осигурани елементи или небезбедни коридори за кретање радника (слика 1).

Информације се затим враћају у *BIM* модел, где софтвер означава детектоване зоне као критичне и додељује им приоритет за интервенцију. На овај начин, *BIM* постаје не само статички алат планирања, већ интелигентна платформа за стално праћење безбедносних ризика.



Слика 1. Повезаност роботике и *BIM* –а [5]

Поред мобилних робота, све веће интересовање постоји за примену стационарних роботизованих система – на пример аутоматских баријера, дрона, роботизованих манипулатора или паметних станица за упозоравање. Сви ови системи могу се директно повезати са *BIM* моделом и софтверским интерфејсима који регулишу њихово понашање. Тако дронави могу надлетати подручја која су у *BIM* -у означена као високоризична и вршити визуелни надзор, док роботизоване баријере могу аутоматски блокирати приступ деловима градилишта све док се ризик не отклони. Оваква аутоматизација не само да повећава безбедност, већ смањује потребу за ручним надзором и радницима омогућава да се фокусирају на задатке без страха од скривених опасности.

BIM технологија такође омогућава креирање симулација које предвиђају будуће сценарије ризика на градилишту. На пример, софтвер може анализирати фазе изградње, идентификовати тренутке када се истовремено одвијају опасни радови (нпр. бетонирање и рад на висини) и активирати роботске системе да додатно обезбеде локацију. Ово омогућава проактивно управљање ризиком – проблем се отклања пре него што се појави. Када је *BIM* интегрисан са напредним алгоритмима вештачке интелигенције, роботски системи могу учити из образаца и препознати потенцијалне опасности које нису дефинисане у почетним параметрима.

3.1. Улога *BIM*-а у идентификацији и ублажавању ризика

BIM омогућава креирање прецизних 3D модела грађевинског пројекта, пружајући свеобухватан преглед локације и њених компоненти. Ово омогућава пројектантима, инжењерима и извођачима радова да идентификују потенцијалне опасности и ризике рано у фази пројектовања, што им омогућава да спроведу неопходне измене како би их минимизирали.

Детекција опасности: *BIM* софтвер може аутоматски да детектује потенцијалне опасности, као што су судари између структурних елемената, неадекватни простори или небезбедни приступни путеви. Ово омогућава брзо решавање ових проблема пре почетка градње, смањујући вероватноћу несрећа на градилишту.

Визуелизација безбедносних мера: *BIM* модели могу да укључују привремене радове, као што су скеле, заштита ивица и огради. Ово омогућава заинтересованим странама да процене ефикасност ових безбедносних мера, осигуравајући да су адекватне и правилно постављене.

Редослед изградње: *BIM* омогућава развој детаљних распореда изградње, омогућавајући пројектним тимовима да безбедно и ефикасно планирају и координишу радове. Ово помаже у спречавању несрећа изазваних лошом комуникацијом или координацијом између заната ^[4].

Обезбеђивање усклађености са прописима о здрављу и безбедности је кључно за сваки грађевински пројекат.

4. ЗАКЉУЧАК

Због велике потражње за напредним функцијама које захтева највиши ниво *BIM* -а, потпуна имплементација ће потрајати доста времена. Међутим, важно је напоменути да се стандарди дизајна разликују од земље до земље, тако да се различити алати могу користити на различитим местима.

На крају порамо пажњу обратити на примену *BIM* технологије у капиталним инвестицијама у Србији. У последње време често се прича о *BIM* технологији и њеној примени у грађевинарству, али многи не схватају колико она заправо може бити корисна, поготово када су у питању велики инфраструктурни пројекти. Трагедија на железничкој станици, где је пала надстрешница и погинуло 16 људи, показала је да је проблем био у неодржавању и непостојању јасних информација о стању објекта. Управо ту *BIM* може да направи огромну разлику.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] <https://www.seve-up.com/bim-data/what-effects-does-bim-have-on-health-and-safety-in-construction/> датум приступа 30.11.2025

[2] M. Richards, D. Churcher, P. Shillcock, i D. Throssell, "Post Contract-Award Building Information

Modelling (BIM) Execution Plan (BEP)". *Construction Project Information Committee*, 2013.

[3] Т. Нинков, И. Сабадош и Ј. Нинков, "BIM технологија и њена примена у поступку праћења имплементације планске документације у урбаним срединама", 12. *Научно стручни скуп „Летња школа урбанизма“*, Мај 17-19., Јагодина, 2016.

[4] RBA, <https://rb-architectes.com/en/construction-safety-the-power-of-bim> (приступљено децембра 2025).

[5] <https://standardbots.com/blog/revolutionizing-construction-the-power-of-robotics> (приступљено децембра 2025).

Кратка биографија:

Марко Баковић је рођен у Подгорици 1996. год. Мастер рад на факултету техничких наука из области Грађевинарства (технологија и организација грађења)- Утицај БИМ технологије на смањење ризика од повреда на раду у грађевинарству одбранио је 2025 год.

Контакт: markobakovictopla@gmail.com

Дигитална трансформација у грађевинарству: улога вештачке интелигенције и савремених технологија у унапређењу продуктивности кроз пројектовање, извођење и одржавање објеката

Digital Transformation in Construction: the Role of Artificial Intelligence and Modern Technologies in Improving Productivity Through Design, Construction, and Maintenance Phases

Драган Икановић, Владимир Мученски, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм - ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај - Дигитална трансформација представља један од најзначајнијих процеса у савременој грађевинској индустрији, са циљем повећања продуктивности, ефикасности и одрживости током целокупног животног циклуса објекта. Овај рад анализира примену савремених технологија као што су Building Information Modeling (BIM), вештачка интелигенција (AI), Internet of Things (IoT) и дигитални близанци у фазама пројектовања, извођења и одржавања. Посебна пажња посвећена је начину на који ове технологије доприносе бољој сарадњи учесника, оптимизацији ресурса и смањењу трошкова.

Кључне речи: дигитална трансформација, грађевинарство, вештачка интелигенција, BIM, IoT, дигитални близанци.

Abstract – Digital transformation represents one of the most significant processes in the modern construction industry, aiming to increase productivity, efficiency, and sustainability throughout the entire life cycle of a building. This paper analyzes the application of modern technologies such as Building Information Modeling (BIM), Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and Digital Twins in the design, construction, and maintenance phases. Special attention is given to how these technologies enhance collaboration, resource optimization, and cost reduction.

Keywords: digital transformation, construction, artificial intelligence, BIM, IoT, digital twins

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Мученски, редовни професор.

1. УВОД

Савремена грађевинска индустрија пролази кроз дубоку дигиталну трансформацију која мења традиционалне приступе пројектовању, извођењу и

одржавању објеката. Увођење савремених технологија као што су Building Information Modeling (BIM), вештачка интелигенција (AI), Internet of Things (IoT), роботика и дигитални близанци (Digital Twins) доприноси повећању ефикасности, смањењу трошкова и унапређењу безбедности на градилиштима.

Дигитализација омогућава бољу интеграцију свих учесника у пројекту и успоставља континуиран ток информација током читавог животног циклуса објекта. Захваљујући томе, грађевинске компаније постижу већу контролу над процесима, бољу предвидљивост ризика и виши степен одрживости. Посебан значај има примена AI система у анализи великих количина података, предвиђању ризика и оптимизацији управљања ресурсима, што представља основу за развој концепта „паметног грађевинарства“.

Циљ овог рада је да прикаже кључне области у којима дигитална трансформација доприноси унапређењу грађевинске индустрије, са посебним освртом на примену BIM технологије, AI алата и паметних система у свим фазама животног циклуса објекта – од пројектовања, преко извођења, до одржавања.

2. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Дигитална трансформација у грађевинарству представља процес у коме се савремене информационе и комуникационе технологије интегришу у све фазе развоја, изградње и експлоатације објеката. Традиционални приступи засновани на папирној документацији, мануелном планирању и ограниченој комуникацији између учесника постепено се замењују дигиталним моделима, аутоматизацијом и разменом података у реалном времену.

Кључни елементи дигиталне трансформације укључују BIM (Building Information Modeling), вештачку интелигенцију (AI), Internet of Things (IoT), 3D штампу, дроне, као и технологије

проширене (AR) и виртуелне стварности (VR). Ови системи омогућавају креирање интегрисаних модела објеката, прецизно планирање ресурса, праћење напретка радова и оптимизацију трошкова.

Примена дигиталних технологија доприноси и одрживом развоју грађевинарства, кроз смањење потрошње материјала и енергије, ефикасније коришћење ресурса и смањење негативног утицаја на животну средину. Дигитални алати такође омогућавају прецизно праћење перформанси објекта током експлоатације, што доприноси продужењу његовог века трајања и повећању енергетске ефикасности.

У основи, дигитална трансформација не подразумева само имплементацију нових технологија, већ и промену пословних модела, начина размишљања и организације рада. Тиме се грађевинска индустрија постепено приближава стандардима „Индустрије 4.0“, где је свака фаза процеса заснована на подацима, аутоматизацији и међусобној повезаности система.



Слика 1. Четири главне области дигиталне трансформације у грађевинарству

3. BIM ТЕХНОЛОГИЈА

Building Information Modeling (BIM) представља једну од кључних технологија дигиталне трансформације у грађевинарству. Суштина BIM приступа огледа се у стварању дигиталног тродимензионалног модела објекта који интегрише све релевантне информације о његовом пројектовању, изградњи и одржавању.

BIM омогућава сарадњу свих учесника пројекта – архитеката, грађевинских и машинских инжењера, извођача и инвеститора – у јединственом дигиталном окружењу. На тај начин се смањују грешке у комуникацији, повећава тачност документације и омогућава боља координација активности током целог животног циклуса објекта.

Примена BIM-а доприноси смањењу ризика од грешака и кашњења, јер омогућава рано препознавање колизија између различитих система (конструкције, инсталација, вентилације и др.).

Осим класичног 3Д моделовања, BIM обухвата и 4Д моделовање (време), 5Д моделовање (трошкове), па чак и 6Д (енергетску ефикасност) и 7Д (управљање одржавањем).

BIM технологија представља основу за развој дигиталних близанаца (Digital Twins), који омогућавају праћење и симулацију стварног понашања објекта у реалном времену. На овај начин, инвеститори и управљачи објектима добијају прецизне податке о перформансама зграде, што омогућава доношење информисаних одлука о одржавању, унапређењу и енергетској оптимизацији.

Увођење BIM технологије у грађевинску праксу доноси бројне предности:

- унапређење комуникације и сарадње,
- бољу контролу трошкова и рокова,
- повећање ефикасности и продуктивности,
- олакшано одржавање објеката,
- стварање базе података за будуће пројекте.

Захваљујући наведеним предностима, BIM је данас постао стандард у савременом грађевинарству, а његова имплементација се све више захтева и кроз законске регулативе и међународне стандарде.



Слика 2. Building Information Modeling (BIM)

4. ПАМЕТНЕ ЗГРАДЕ И ИНФРАСТРУКТУРА

Развој паметних зграда и инфраструктуре представља важан корак у процесу дигиталне трансформације грађевинарства. Паметне зграде се заснивају на интеграцији информационих технологија, IoT уређаја (Internet of Things), сензора и аутоматизованих система који омогућавају ефикасније управљање енергијом, безбедношћу и комфором корисника.

Примена паметних система управљања (BMS – Building Management System) омогућава централизовано праћење и контролу свих техничких система у објекту – расвете, грејања, вентилације, климатизације, водоснабдевања и безбедности. На тај начин се постиже оптимизација потрошње енергије, смањење трошкова одржавања и продужавање животног века објекта.

Интеграција сензора и IoT уређаја омогућава прикупљање и анализу података у реалном времену, чиме се доносе прецизније одлуке о функционисању објекта. На пример, сензори покрета и температуре аутоматски регулишу рад расвете и грејања у складу са присуством људи, док системи за надзор потрошње енергије омогућавају правовремено откривање одступања и губитака.



Слика 3. IoT архитектура за паметне зграде

Паметна инфраструктура, попут паметних путева, мостова и тунела, користи сличне принципе дигитализације. Уграђени сензори мере оптерећења, вибрације, температуру и влажност, чиме се обезбеђује предиктивно одржавање и спречавање потенцијалних кварова или хаварија. Комбинацијом BIM технологије и паметних система управљања ствара се основа за дигиталне близанце, који омогућавају симулацију стварних услова рада и ефикасније планирање одржавања. Паметне зграде и инфраструктура тако постају кључни елементи одрживог урбаног развоја, јер доприносе енергетској ефикасности, смањењу емисије угљен-диоксида и већем квалитету живота корисника.

5. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ФАЗИ ПРОЈЕКТОВАЊА

Фаза пројектовања представља кључни корак у дигиталној трансформацији грађевинарства, јер управо у овом сегменту започиње интеграција савремених технологија које обликују цео животни циклус објекта.

Примена BIM (Building Information Modeling) технологије омогућава обједињавање архитектонских, грађевинских и машинско-електротехничких дисциплина у јединствен дигитални модел. На тај начин обезбеђује се боља координација међу учесницима, смањује могућност грешака и оптимизује процес планирања.



Слика 4. The Edge - Амстердам



Слика 5. Научно-технолошки парк, Нови Сад

Дигитални алати омогућавају напредну визуелизацију и симулацију пројектованих решења, што доприноси квалитетнијем доношењу одлука и јаснијем разумевању пројекта пре почетка изградње.

Коришћење вештачке интелигенције и алгоритама машинског учења у фази пројектовања све чешће се користи за оптимизацију простора, материјала и енергетске ефикасности, чиме се постижу значајне уштеде и унапређује одрживост пројекта.

Увођење колаборативних платформи и cloud решења доприноси ефикаснијој комуникацији и сарадњи свих учесника, чиме се смањује број ревизија и убрзава процес доношења одлука. Дигитална трансформација у овој фази ствара чврсту основу за дање фазе изградње и одржавања објекта.

6. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ФАЗИ ИЗВОЂЕЊА РАДОВА

Током фазе извођења, дигитална трансформација се огледа у употреби технологија које омогућавају праћење, контролу и оптимизацију грађевинских радова у реалном времену.



Слика 6. Интеграција ВІМ-а у пројектовању

Примена дрoновa, 3Д штампe и рoботизованих система значајно доприноси прецизности, брзини и сигурности на градилишту. Дрoнови се користе за праћење напретка радова, контролу квалитета и израду ажурираних мапа терена, док рoботизовани системи и 3Д штампa омогућавају брже и прецизније извођење одређених радова.



Слика 7. Снимак дрoна и дрoн на градилишту

Коришћење AR (Augmented Reality) и VR (Virtual Reality) технологија омогућава инжењерима и извођачима да визуализују пројектована решења на терену и на тај начин избегну потенцијалне грешке у извођењу.

Паметне кациге, сензори и дигиталне платформе омогућавају пренос података директно са градилишта, што доприноси бољој контроли безбедности, квалитета и трошкова.

Примена дигиталних алата за управљање ресурсима и планирање активности повећава ефикасност и омогућава правовремено реаговање на одступања у динамици радова. На тај начин, фаза извођења постаје транспарентнија, економичнија и усклађена са савременим захтевима тржишта.



Слика 8. Рoбот зидар „Hadrien X “

7. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА НА ОДРЖАВАЊУ ОБЈЕКТА

Фаза одржаванаа објекта постаје све значајнија захваљујући развоју дигиталних технологија које омогућавају континуирано праћење и оптимизацију рада објекта током целог животног циклуса.

ВІМ модели се користе као основа за управљање објектом, јер садрже све релевантне информације о инсталацијама, материјалима и опреми. Интеграцијом са IoT сензорима омогућено је прикупљање података о потрошњи енергије, воде, перформанса система и условима у објекту.

Ови подаци се анализирају у реалном времену уз помоћ предиктивне аналитике и вештачке интелигенције, чиме се омогућава правовремено планирање превентивног одржавања и избегавање непланираних кварова.

Паметни системи управљања зградама (BMS) аутоматски регулишу грејање, вентилацију и климатизацију у складу са спољним условима и потребама корисника, чиме се повећава енергетска ефикасност и смањују трошкови експлоатације.

8. СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА

У наставку су представљени европски примери који се тичу концепта паметних зграда.



Слика 9. Crossrail (Лондон, Велика Британија)

9. ЗАКЉУЧАК

Дигитална трансформација представља кључни корак у модернизацији грађевинске индустрије и прелазак са традиционалних метода рада на савремене, технолошки подржане процесе.

Кроз примену ВІМ технологије, вештачке интелигенције, IoT система и паметних решења, грађевинарство добија нове могућности за повећање продуктивности, ефикасности и одрживости у свим фазама животног циклуса објекта – од пројектовања, преко извођења, до одржавања.



Слика 10. The Edge (Амстердам, Холандија)



Слика 11. Beograd Tower (Србија)

Интеграција дигиталних алата омогућава прецизније планирање, бољу координацију учесника, смањење грешака и трошкова, као и брже доношење одлука. Посебно значајну улогу има примена вештачке интелигенције у анализи података, предиктивном одржавању и оптимизацији процеса, док паметне зграде и инфраструктура доприносе већем комфору корисника и енергетској ефикасности.

Резултати истраживања и примене дигиталних технологија у грађевинарству указују на потребу за даљим развојем дигиталних компетенција, стандардизацијом процеса и већим улагањима у технолошке иновације.

Будућност грађевинарства несумњиво лежи у потпуној интеграцији савремених технологија, које ће омогућити стварање одрживих, паметних и високоефикасних грађевинских система.

10. ЛИТЕРАТУРА

[1] McKinsey & Company – “The Next Normal in Construction: How Disruption is Reshaping the World’s Largest Ecosystem”. Доступно као PDF: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The-next-normal-in-construction/The-next-normal-in-construction.pdf>

[2] Digital Transformation of the Construction Industry: Sustainability, Resilience, and Data-Centric Engineering — Elsevier.

[3] World Economic Forum – “Shaping the Future of Construction” (2016). Доступно као PDF: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf

[4] Поповић, Д. (2020). Примена BIM технологије у грађевинској индустрији Србије. Грађевинар, 72(9), 815–827.

[5] BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers — John Wiley & Sons

Кратка биографија:



Драган Икановић рођен је у Лозници 1.9.1999. године. Основне као и мастер студије завршио је на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер грађевинарство, одсек организација и технологија грађења.



Владимир Мученски рођен је 27.4.1980. године у Врбасу. Звање доктора наука стекао је 2013. године. Редовни је професор на Факултету техничких наука у Новом Саду.

Нелинеарна статичка анализа зидане зграде спратности П+5 у Новом Саду

Nonlinear Static Analysis of a Masonry Building GF+5 in Novi Sad

Дарко Бошковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – У раду је спроведена нелинеарна статичка анализа вишеспратне зидане зграде спратности (П+5) на подручју Новог Сада, према Еврокод стандардима. Тродимензионални математички модел формиран је применом еквивалентних оквира. Ниво сеизмичког дејства (убрзање тла) је постепено увећаван како би се добио крајњи сеизмички капацитет објекта. При анализи су у обзир узета два распореда сеизмичких сила за главне правце објекта. Прорачунате су вредности фактора прекорачења (OSR), дуктилности (μ) и фактора понашања (q), и упоређене су са вредностима добијеним у софтверу, и са вредностима датим у Еврокоду.

Кључне речи: вишеспратна зидана зграда, модел еквивалентног оквира, pushover анализа, OSR фактор, q фактор

Abstract – The study presents a nonlinear static analysis of a multi-storey masonry building (GF+5) situated in Novi Sad, according to Eurocode standards. A three-dimensional mathematical model was formed using equivalent frames. The seismic intensity (ground acceleration) was incrementally increased to determine the structure's ultimate seismic capacity. Two configurations of seismic forces for the main directions of the building were considered during the analysis. Calculations were conducted to assess the overstrength ratio (OSR), ductility (μ), and behavior factor (q), and the values were compared with values derived from software, and with values given in Eurocode.

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

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

1. УВОД

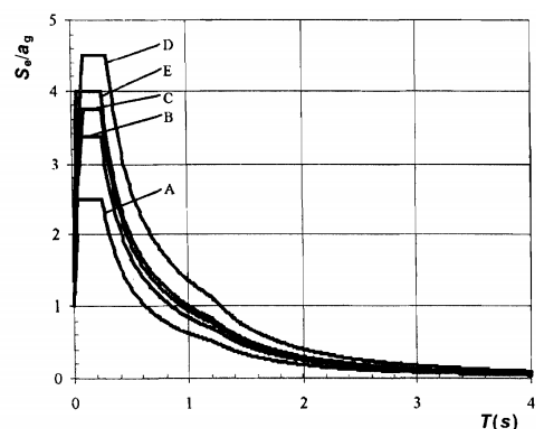
Зидане конструкције су традиционално популарне због једноставне градње, дуготрајности и отпорности на пожар, температуру и временске услове. Међутим, оне имају слабости у погледу сеизмичке отпорности због велике масе, ниске затезне чврстоће и смањене дуктилности, што их чини мање отпорним на потресе у поређењу са АБ и челичним.

2. ОПИС ОБЈЕКТА

Пројектује се стамбени објекат спратности П+5 у Новом Саду, димензија основе 15,15x14,65 m и висине 17,40 m. У конструктивном смислу објекат је масивног система, израђен од зиданих зидова који су укрупњени хоризонталним и вертикалним серклажима. Носећи зидови у приземљу и на спратовима су дебљине 25 cm. Сви армиранобетонски елементи у конструкцији су пројектовани у бетону класе С30/37. Вертикални серклажи су димензија 25x25 cm и 25x25 cm. Хоризонтални серклажи се ослањају на носеће зидове а њихова висина одговара висинама таваница. Димензије хоризонталних серклажа су 25x20 cm и 25x25 cm. Серклажи су армирани са $\varnothing 14$ (подужна арматура) и $U\varnothing 8$ (узенгије). Пројектом су предвиђене АБ међуспратне и кровна плоча дебљине 20 cm, изведене бетоном класе С30/37 и армиране у обе зоне арматуром Q335. Кровна плоча има благи нагиб за одвод атмосферских вода.

3. АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА

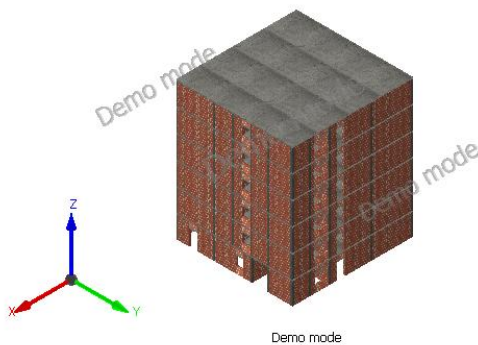
На објекат поред сопствене тежине делују и следећа оптерећења: додатно стално оптерећење чија је вредност 1,50 kN/m²; променљиво оптерећење које износи 2,0 kN/m² на међуспратним таваницама, док на кровној плочи износи 1,0 kN/m²; и оптерећење снегом у износу 1,0 kN/m². Сеизмичко дејство је изражено преко спектра одговора тип 2 (Слика 2), тип тла је Б.



Слика 1. Препоручен тип 2 еластичног спектра одговора за категорије тла А до Е (5% пригушења)

4. МОДЕЛИРАЊЕ КОНСТРУКЦИЈЕ И ОПТЕРЕЋЕЊА

Објект је моделиран као тродимензионалан (3D) у софтверу AmQuake (Слика 2). За моделирање конструкције коришћен је модел еквивалентног оквира, где су сви елементи конструкције, осим међуспратних плоча, приказани као 1D елементи. Као вертикални гредни елементи приказани су носећи зидови и вертикални серклажи, док су као хоризонтални гредни елементи моделирани парпети, хоризонтални серклажи, натпозорне и надвратне греде. Међуспратне таванице су у својој равни бесконачно круте и обезбеђују компатибилност хоризонталних померања свих чворова тј. зидова које повезују.



Слика 2. 3D модел зграде

Стално оптерећење односи се на константна оптерећења која су присутна на објекту током целог века његове експлоатације. Променљива оптерећења - корисно оптерећење и оптерећење снегом приказана су као једнакоподељена оптерећења по површини међуспратних плоча, односно кровне плоче. На моделу је варирано убрзање и вршена је провера за које максимално убрзање би зграда имала задовољавајући одговор. Класа значаја објекта је II и фактор $\gamma_I = 1,0$.

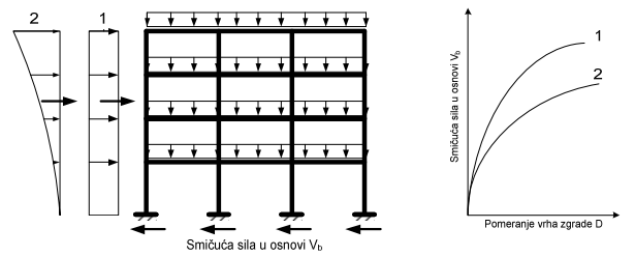
$$a_{g,ULS} = a_{gR} \cdot \gamma_I = 0,10 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1,0 = 1,0 \frac{m}{s^2}$$

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

5. PUSHOVER АНАЛИЗА

Метода поступног гурања, односно pushover метода, је нелинеарна статичка метода прорачуна нових или постојећих објеката. Главни принцип методе је праћење одговора конструкције за растућу хоризонталну силу уз константно вертикално оптерећење. Нелинеарна статичка анализа се спроводи под константним гравитационим оптерећењем применом монотонно растућег хоризонталног оптерећења. Хоризонтално оптерећење је претпостављено са одговарајућом расподелом по висини и повећава се монотонно од нула до крајње вредности које би изазвало рушење конструкције. Неопходно је применити две вертикалне расподеле бочних сила, и то: равномерну расподелу, где су бочне

силе пропорционалне масама без обзира на висински положај, и модалну расподелу, где су бочне силе у складу са расподелом сила при еластичној анализи (Слика 3). Неповољнији резултати се усвајају као меродавни.

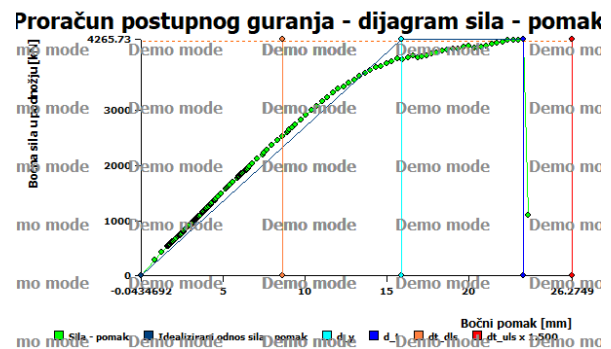


Слика 3. Расподеле бочних сила које треба користити за pushover анализу

6. РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА

Поступно гурање је вршено на просторном моделу конструкције у X и Y правцима. На основу добијених резултата из софтвера: фактора прекорачења (eng. overstrength factor - *OSR*) и дуктилности μ , израчунава се фактор понашања q , који се упоређује са препорученим вредностима за зидане конструкције дефинисаним у Еврокоду 8.

У Табели 1 је дат приказ резултата pushover анализе приказане Сликаом 4, за случај оптерећења који даје најмању резерву носивости.



Слика 4. Случај оптерећења који даје најмању резерву носивости (Y-, униформна расподела сила)

Табела 1. Резултати pushover анализе, Y-, униформна расподела оптерећења

Циљно померање за ГСУ - $d_{t,dis}$	8,64	[mm]
Капацитет за ГСУ - $d_{c,dis}$	23,31	[mm]
Циљно померање за ГСН - $d_{t,uls}$	26,28	[mm]
Капацитет за ГСН - $d_{c,uls}$	23,31	[mm]
Период - T	0,43	[s]
Максимално референтно убрзање - a_g	1,08	[m/s ²]
Дуктилност - μ	1,50	/
Фактор прекорачења - OSR	4,90	/
Еластично померање - d_y	15,87	[mm]

7. РУЧНА ВЕРИФИКАЦИЈА РЕЗУЛТАТА

7.1 Циљна померања и капацитети за гранична стања ULS i DLS

Циљно померање у анализи pushover криве представља максимално допуштено померање (деформацију) које конструкција може поднети при одређеним земљотресним дејствима. Капацитетом конструкције се сматра померање при коме је прекорачен критеријум:

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

$F_{b,i}$ - смичућа сила у основи зграде при којој долази до прогресивног оштећења и лома појединих елемената система за пријем бочног оптерећења; $F_{b,max}$ - максимална носивост зграде.

7.2 Одређивање максималног убрзања a_g

Максимално убрзање одређује се као:

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

Добијене вредности максималних могућих убрзања су приказане у Табели 2.

Табела 2. Вредности максималних могућих убрзања

Распоред оптерећења	Случај оптерећења	a_g [m/s ²]	Am_{Quake}
Униформни распоред	X+, pos exc	1,48	1,16
	X+, neg exc	0,85	1,12
	X-, pos exc	0,85	1,13
	X-, neg exc	0,86	1,08
	Y+, pos exc	1,00	1,25
	Y+, neg exc	1,00	1,23
	Y-, pos exc	1,00	1,35
	Y-, neg exc	1,00	1,31
Модални распоред	X+, pos exc	0,82	1,37
	X+, neg exc	0,82	1,37
	X-, pos exc	0,82	1,25
	X-, neg exc	0,82	1,24
	Y+, pos exc	1,00	1,25
	Y+, neg exc	1,00	1,22
	Y-, pos exc	1,00	1,70
	Y-, neg exc	1,00	1,79

7.3 Дуктилност μ

Дуктилност је карактеристика која се мери степеном пластичне деформације до које може доћи пре него што дође до преласка између еластичног и пластичног деформисања или пре него што дође до коначног лома. Дуктилност у односу на померање се рачуна према следећем изразу:

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

d_{max} - капацитет конструкције за MDOF систем; d_y - померање на граници течења за MDOF систем.

Добијене вредности дуктилности су приказане у Табели 3.

7.4 Фактор прекорачења OSR

Фактор прекорачења OSR се изражава преко односа F_y/F_{el} или α_u/α_1 .

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

F_y - гранична смичућа сила на идеализованој билинералној криви; F_{el} - смичућа сила при којој се формира први пластични зглоб. Фактор прекорачења зависи од различитих фактора који укључују карактеристике материјала, врсту оптерећења, животни век конструкције, крутост таваница у својој равни, претпоставке о моделирању везних елемената, везе између конструктивних елемената.

Табела 3. Вредности дуктилности

Распоред оптерећења	Случај оптерећења	μ	Софтвер μ/g
Униформни распоред	X+, pos exc	1,51	1,54
	X+, neg exc	1,47	1,51
	X-, pos exc	1,53	1,56
	X-, neg exc	1,47	1,50
	Y+, pos exc	1,80	1,84
	Y+, neg exc	1,73	1,77
	Y-, pos exc	1,69	1,73
	Y-, neg exc	1,63	1,66
Модални распоред	X+, pos exc	1,51	1,91
	X+, neg exc	1,52	1,92
	X-, pos exc	1,43	1,81
	X-, neg exc	1,44	1,82
	Y+, pos exc	1,89	2,39
	Y+, neg exc	1,82	2,31
	Y-, pos exc	2,12	1,70
	Y-, neg exc	2,29	2,89

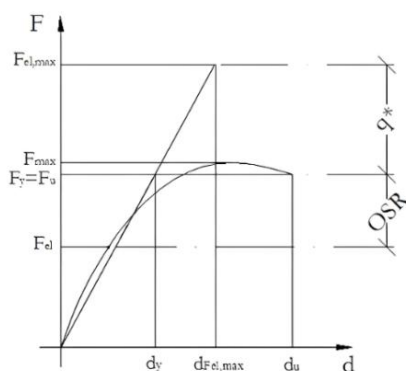
Ниже вредности фактора прекорачења меродавне су у pushover анализи, односно у овом случају меродавна је униформна расподела бочних сила.

Табела 4. Вредности фактора прекорачења OSR

		OSR	софтвер
Униформни распоред	X+, pos exc	4,53	4,506
	X+, neg exc	4,00	4,058
	X-, pos exc	6,36	7,748
	X-, neg exc	5,31	15,407
	Y+, pos exc	5,35	6,079
	Y+, neg exc	4,56	4,652
	Y-, pos exc	4,90	4,952
	Y-, neg exc	4,96	4,953
Модални распоред	X+, pos exc	6,57	6,569
	X+, neg exc	5,77	5,848
	X-, pos exc	5,57	13,663
	X-, neg exc	6,42	20,225
	Y+, pos exc	5,26	5,363
	Y+, neg exc	5,46	5,508
	Y-, pos exc	6,34	9,237
	Y-, neg exc	6,47	6,460

7.5 Фактор понашања q

Фактор понашања представља нумерички параметар који одражава очекивано понашање конструкције под сеизмичким дејством. Фактор понашања q представља приближну вредност односа између сеизмичких сила које би деловале на конструкцију када би њен одговор био потпуно еластичан ($F_{el,max}$) са 5% релативног вискозног пригушења и сила које се користе у анализи (F_{el}) користећи уобичајени линеарно-еластични модел. Овај фактор осигурава задовољавајући одговор конструкције (Слика 5).



Слика 5. Параметри за дефиницију фактора понашања q (F - базна смичућа сила, d - померање контролне тачке)

За зидане конструкције, као што је то случај и код других типова конструкција (армиранобетонске, челичне), у дефиницији фактора понашања q потребно је узети у обзир ојачање конструкције преко односа прекорачења (OSR). Фактор понашања q се тада може дефинисати на следећи начин:

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

q^* - основна вредност фактора понашања која узима у обзир дисипативну способност конструкције.

У Табели 5 дате су вредности фактора понашања одређене анализом.

Табела 5. Вредности фактора понашања q

Униформни распоред	X+, pos exc	6,85
	X+, neg exc	5,89
	X-, pos exc	9,75
	X-, neg exc	7,80
	Y+, pos exc	9,63
	Y+, neg exc	7,90
	Y-, pos exc	8,28
	Y-, neg exc	8,06
Модални распоред	X+, pos exc	9,94
	X+, neg exc	8,46
	X-, pos exc	9,17
	X-, neg exc	7,81
	Y+, pos exc	9,94
	Y+, neg exc	9,95
	Y-, pos exc	13,45
	Y-, neg exc	14,78

Добијене вредности фактора понашања се крећу у интервалу од 5,89 до 14,78. Највећа вредност је

добијена за негативан Y правац са позитивним ексцентрицитетом деловања оптерећења. Добијене вредности су знатно веће од вредности које су препоручене у делу 1 Еврокода 8.

Табела 6. Вредности фактора понашања према Еврокоду 8

Начин грађења	q
Неармирани зидови према ЕС6 за случај ниске сеизмичности	1,5
Неармирани зидови према ЕС8	1,5-2,5
Зидови са серклажима	2,0-3,0
Армирани зидови	2,5-3,0

8. ЗАКЉУЧАК

На основу извршених прорачуна конструкције, у складу са одредбама Еврокодова, може се са сигурношћу закључити да сви конструктивни елементи испуњавају потребне критеријуме носивости. Зидови изложени већим вертикалним оптерећењима показују повећану носивост, док присуство отвора може довести до смањења стабилности и већих померања, што захтева посебан приступ приликом пројектовања. У том смислу, серклажи играју кључну улогу, нарочито код зидова са отворима, док зидови без серклажа бележе знатно мању отпорност на хоризонталне силе. Еврокод 8 пружа свеобухватан оквир за пројектовање сеизмички отпорних конструкција, интегришући савремене инжењерске праксе и стандарде. Анализе указују на веће q факторе од прописаних, док процене показују висок степен поузданости у предвиђању понашања зидане конструкције изложене сеизмичком дејству.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] ЕН 1996-1-1: 2005 – Еврокод 6 „Прорачун зиданих конструкција”; Београд, новембар 2009.
- [2] ЕН 1998-1: 2004 – Еврокод 8 „Прорачун сеизмички отпорних конструкција”; Београд, новембар 2009.
- [3] Стевановић Б., Лађиновић Ђ.: „Основни принципи и правила пројектовања, прорачуна и изградње зиданих зграда према ЕС6 и ЕС8”, прегледни рад.
- [4] Вукобратовић Владимир: „Материјал за предавања из предмета Одабрана поглавља зиданих конструкција”.
- [5] Лађиновић Ђорђе: „Савремене методе сеизмичке анализе конструкција зграда”, прегледни рад, 2008.
- [6] Манојловић Драган: „ Материјал за вежбе из предмета Одабрана поглавља зиданих конструкција”.

Кратка биографија:



Дарко Бошковић рођен је у Новом Саду 11.12.1997. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинско инжењерство одбранио је 2026. год.

контакт:

darko97boskovic@gmail.com



Заштита насеља Залуг од великих вода реке Лим

Protection of the Zalug Settlement from Flood Waters of the Lim River

Милан Туфегџић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО,
ХИДРОТЕХНИКА

Кратак садржај – У оквиру рада разматра се проблем заштите насеља Залуг од великих вода реке Лим, на деоници од км 69+741 до км 72+741, са аспекта смањења ризика од поплава и обезбеђивања стабилног и безбедног режима течења. Анализа обухвата сагледавање природних, просторних и хидролошких карактеристика предметне деонице реке, као и утицаја великих вода на насеље, инфраструктуру и пољопривредне површине. У раду је извршено дефинисање меродавних протицаја великих вода применом хидролошких анализа и расположивих података, као и хидрауличка анализа постојећег и пројектованог стања корита реке Лим. Посебна пажња посвећена је испитивању пропусне моћи корита, појави изливања воде у постојећем стању и идентификацији угрожених површина. На основу добијених резултата разматране су могућности примене одбрамбених хидротехничких објеката, као што су насипи и заштитни бетонски зидови, у циљу смањења ризика од плављења и унапређења нивоа заштите. Хидраулички прорачуни спроведени су применом једнодимензионалног модела у програмској пакету HEC-RAS, а добијени резултати представљају основу за дефинисање техничког решења одбрамбене линије и планирање мера заштите од великих вода.

Кључне речи (три до пет): Велике воде, поплавни талас, хидрауличка анализа, HEC-RAS, пропусна моћ и стабилност корита, регулација водотока

Abstract – This thesis examines the flood protection of the Zalug settlement from high waters of the Lim River, within the river reach from km 69+741 to km 72+741, with the aim of reducing flood risk and ensuring a stable and safe flow regime. The analysis includes an assessment of the natural, spatial, and hydrological characteristics of the considered river section, as well as the impacts of extreme hydrological events on the settlement, infrastructure, and agricultural areas. Design flood discharges were determined based on hydrological analyses and available data, followed by a hydraulic analysis of both the existing and the proposed river channel conditions. Particular attention is devoted to the evaluation of channel conveyance capacity, the occurrence of overbank flooding under existing conditions, and the identification of flood-prone areas. Based on the obtained results, the application of flood protection hydraulic structures, including embankments and reinforced concrete flood walls, is

analyzed in order to reduce flood risk and improve the level of protection. Hydraulic calculations were performed using a one-dimensional model in the HEC-RAS software package, and the obtained results provide the basis for defining the technical solution of the flood defense system.

Keywords: (three to five): High waters, flood wave, hydraulic analysis, HEC-RAS, channel conveyance capacity and stability, river regulation

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

1. УВОД

Поплаве представљају један од најзначајнијих природних ризика за приобална насеља, јер директно угрожавају стамбене објекте, инфраструктуру и пољопривредне површине [1]. За одбрану од великих вода неопходно је применити адекватне хидротехничке мере које омогућавају контролу водотокова и смањују вероватноћу настанка материјалних штета [3]. Основни циљ пројектовања одбрамбених објеката, као што су насипи и армирани бетонски зидови, јесте обезбеђивање стабилности приобалног подручја током екстремних хидролошких догађаја, уз очување терена и постојеће инфраструктуре [4].

Река Лим представља најзначајнији водоток Пријепољског краја, у који се уливају бројне мање притоке, од којих велики број има бујични карактер. Услед обилних падавина и наглог пораста водостаја притока, долази до наглог пораста водостаја реке Лим, што у појединим деоницама изазива изливање воде из корита и плављење приобалних површина. Овакви хидролошки услови посебно долазе до изражаја у зонама где не постоје изграђени одбрамбени системи.

Насеље Залуг, које се налази уз леву обалу реке Лим у општини Пријепоље, у више наврата је било изложено негативним последицама великих вода. У прошлости су забележене значајне штете на стамбеним објектима, пољопривредном земљишту и пратећој инфраструктури, услед изливања реке током периода интензивних падавина. На предметној деоници корито реке је неуређено, приобални појас је обрастао ниским и високим растињем, док су куће и пољопривредне

парцеле смештене непосредно уз обалу, што додатно повећава степен угрожености.

Пројектни приступ у заштити од великих вода подразумева анализу водостаја, хидрауличке прорачуне и прилагођавање димензија одбрамбених објеката условима терена, како би се обезбедила дугорочна сигурност и функционалност система заштите [1]. При томе се узимају у обзир карактеристике речног корита, угрожене површине и могући сценарији појаве великих вода [7].

Предмет овог рада је израда решења за заштиту насеља Залуг од великих вода реке Лим, у зони од км 69+741 до км 72+741, применом хидротехничких објеката као што су насипи и пратећи заштитни бетонски зидови, са циљем смањења ризика од поплава и обезбеђивања безбедности становништва и инфраструктуре.

2. ХИДРАУЛИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ УЗ ПОМОЋ СОФТВЕРА

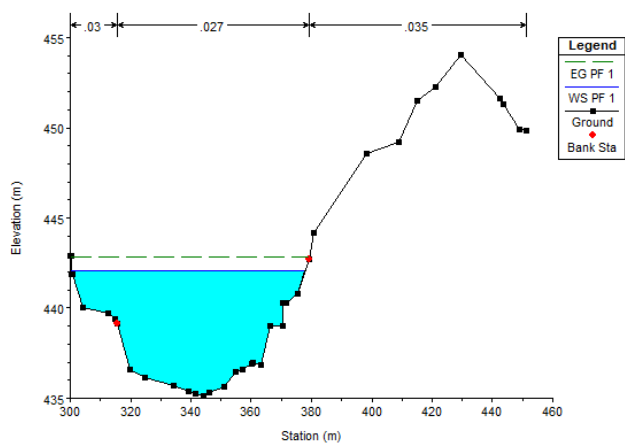
Хидрауличко моделовање представља један од кључних сегмената савремене анализе водотокова, јер омогућава прорачун и предвиђање понашања течења у условима који су у природним речним токовима изразито сложени [1]. Применом математичких модела, заснованих на основним законима механике флуида, могуће је симулирати различита хидрауличка стања и анализирати утицај природних и антропогених фактора на режим течења [2]. У природном речном току течење је најчешће неусталено, неједнолико и турбулентно, што је последица променљивости протицаја, геометрије корита и храпавости дна и обала.

Развој рачунарске технике значајно је унапредио могућности хидрауличког моделовања, те се данас прорачуни у области отворених токова најчешће спроводе применом специјализованих софтверских пакета [3]. Ови програми омогућавају увођење реалне геометрије корита, дефинисање граничних услова, анализу различитих сценарија протицаја и јасну визуелизацију добијених резултата у виду профила и просторних приказа. Избор одговарајућег софтвера зависи од карактеристика тока, циља анализе и расположивих улазних података.

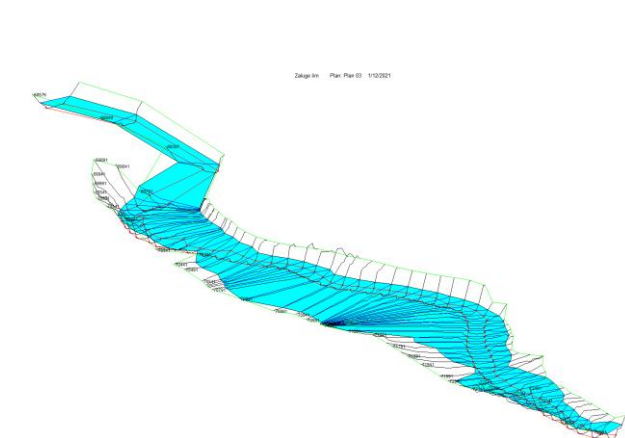
Према степену просторне детаљности, хидраулички модели се деле на једнодимензионалне, дводимензионалне и тродимензионалне [1]. Једнодимензионални модели описују течење кроз промену хидрауличких величина дуж уздужне осе водотока, при чему се унутар попречног профила користе средње вредности. Овај приступ је посебно погодан за анализу дужих речних деоница, где је уздужна компонента течења доминантна [3].

У оквиру овог рада примењен је једнодимензионални хидраулички модел, при чему је хидраулички прорачун заснован на примени закона одржања масе и енергије. Посебан значај у прорачуну има правилно дефинисање геометрије корита, Манинговог коефицијента храпавости и граничних услова, јер они

у највећој мери утичу на поузданост добијених резултата [4]. Резултати хидрауличког моделовања представљају основу за одређивање карактеристичних нивоа воде и димензионисање мера заштите од великих вода.



Слика 1. Попречни профил у софтверу HEC-RAS



Слика 2. Пример 1D модела у софтверу HEC-RAS

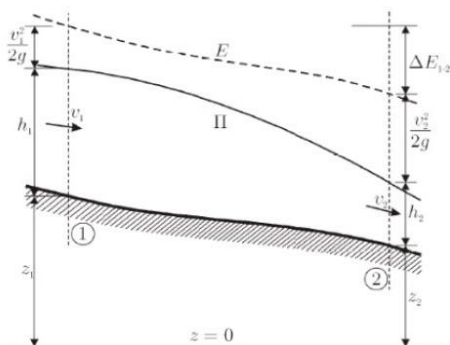
3. ХИДРАУЛИЧКА АНАЛИЗА

Хидрауличка анализа представља наставак хидролошке анализе и има за циљ да, на основу меродавних протицаја, сагледа понашање тока реке Лим у постојећем и пројектованом стању [3]. Док хидролошка анализа обезбеђује улазне протицаје, хидрауличка анализа омогућава одређивање нивоа воде, брзина течења и услова протицаја дуж посматране деонице водотока [1]. Анализа је спроведена применом једнодимензионалног (1D) хидрауличког модела у програмском пакету HEC-RAS, за усталени режим течења. Посебна пажња посвећена је анализи појаве изливања воде из корита, сагледавању услова течења при меродавним великим водама, утврђивању пропусне моћи корита и анализи утицаја предложених хидротехничких објеката на стабилност режима течења дуж предметне деонице.

Основна једначина која се користи у хидрауличком прорачуну представља једначину одржања енергије. (1). Решавањем ове једначине се одређују нивои воде у суседним попречним профилима. Једначина се

решава итеративним поступком, по деоницама ограниченим суседним профилима, при чему се енергетски губици услед трења и локалних отпора одређују применом Манингове формуле [4]. Коришћена је и једначина континуитета која се користи за решавање проблема устаљеног неједноликог течења (2).

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + Z_2 + \Delta E_{1-2} \quad (1)$$



Слика 3. Поставка Бернулијеве једначине за отворени ток два суседна речна профила

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2)$$

За потребе прорачуна усвојен је низводни гранични услов, дефинисан као нормална дубина течења, односно као нагиб линије нивоа воде који одговара паду дна корита реке Лим. Хидраулички модел формиран је на основу геометрије корита дефинисане попречним профилима, уз усвајање одговарајућих Манингових коефицијената храпавости за минор корито и приобалне површине.

Гранични услови и улазни подаци дефинисани су применом карактеристичних протицаја добијених хидролошком анализом, који су коришћени за анализу постојећег и пројектованог стања корита. Као основни меродавни протицај за димензионисање усвојен је протицај велике воде вероватноће појаве 1%, који представља основу за проверу пропусне моћи и стабилности система заштите [5].

Хидрауличком анализом постојећег стања утврђено је да корито реке Лим на предметној деоници нема довољну пропусну моћ за пролаз меродавних великих вода, при чему долази до изливања воде на приобалне површине. Анализа нивоа воде и брзина течења указала је на неуједначен распоред брзина и локално повећане вредности, које могу довести до ерозије дна и косина корита.

У оквиру прорачуна анализирани су и параметри као што су брзине течења, Фрудов број (3) и карактер режима течења, што је омогућило свеобухватну оцену хидрауличких услова. Резултати анализе показују да је у пројектованом стању течење углавном субкритично, са стабилнијим режимом и равномернијом расподелом хидрауличких параметара.

$$Fr = \frac{Q^2 B}{g A^3} \quad (3)$$

Упоредна анализа постојећег и пројектованог стања показује да предложено техничко решење доводи до смањења нивоа воде, уједначавања брзина течења и значајног побољшања стабилности корита. На основу спроведених прорачуна може се закључити да пројектовано решење обезбеђује безбедан пролаз меродавних великих вода и значајно смањује ризик од плављења насеља Залуг.

4. ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ У РЕГУЛАЦИОНЕ ГРАЂЕВИНЕ

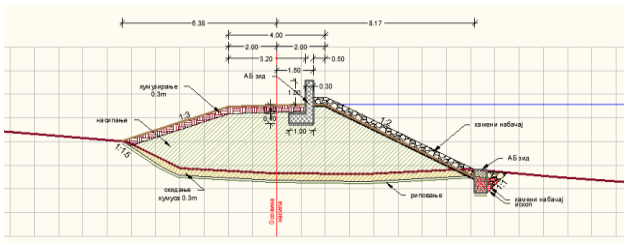
Техничко решење заштите насеља Залуг од великих вода реке Лим заснива се на резултатима спроведених хидролошких и хидрауличких анализа, са циљем обезбеђивања заштите од стогодишњих вода, смањења ризика од плављења и повећања безбедности становништва и инфраструктуре. Предложено решење обухвата примену хидротехничких објеката у складу са морфолошким карактеристикама корита и конфигурацијом терена, при чему је избор и распоред објеката прилагођен постојећем стању приобалног простора на предметној деоници.

За заштиту од поплава на левој обали реке Лим предвиђена је изградња одбрамбене линије у зони од км 69+741 до км 72+741, која се састоји од земљаних насипа, армирано-бетонских зидова и насипа са зидом на круни. Траса одбрамбене линије дефинисана је тако да обезбеди континуитет заштите брањеног подручја, уз уклињење у виши терен на крајевима појединих деоница и минимално заузимање околног земљишта.

Техничко решење обухвата четири деонице одбрамбене линије, различитог типа у зависности од локалних услова терена и положаја постојећих објеката. На деловима са довољним простором примењени су насипи са заштитним зидом на круни, док су на деоницама ограниченог простора и у близини постојећих објеката предвиђени самостални армирано-бетонски зидови. Коте круне насипа и зидова одређене су на основу меродавне велике воде вероватноће појаве 1%, уз усвојено сигурносно надвишење.

Ради обезбеђења стабилности и спречавања ерозије, небрањене косине насипа ојачане су каменом у бетону, уз примену анкерних армирано-бетонских греда, док су круне насипа и брањене косине хумузиране и затрављене. У оквиру решења предвиђена је изградња рампи, насипских капија и пропуста, чиме се обезбеђује функционалност система заштите и приступ брањеном подручју.

Применом предложеног техничког решења обезбеђује се безбедан пролаз меродавних великих вода реке Лим, значајно смањење плављених површина и унапређење стабилности одбрамбене линије, чиме се постиже ефикасна заштита насеља Залуг и припадајућег приобалног простора.



Слика 4. Карактеристичан попречни профил насипа

5. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведених хидролошких и хидрауличких анализа може се закључити да предложено решење заштите насеља Залуг од великих вода реке Лим представља технички оправдано, хидраулички ефикасно и просторно прихватљиво решење. Применом усвојеног система одбрамбене линије, који обухвата земљане насипе, армирано-бетонске зидове и насипе са зидом на круни, обезбеђује се адекватна заштита од меродавних великих вода вероватноће појаве 1%, уз поштовање усвојених критеријума сигурносног надвишења. Оваквим приступом постиже се стабилан и контролисан режим течења дуж предметне деонице реке Лим.

Резултати хидрауличног моделовања показују да предложено решење значајно унапређује пропусну моћ корита и смањује ризик од изливања воде на приобалне површине. Упоредна анализа постојећег и пројектованог стања указује на смањење нивоа воде при меродавним протицајима, уједначенију расподелу брзина течења и побољшање услова стабилности корита. На тај начин се смањује могућност појаве ерозије дна и косина, као и негативних утицаја великих вода на стамбене објекте, пољопривредно земљиште и пратећу инфраструктуру у зони насеља Залуг.

Предложено техничко решење омогућава функционалност и поузданост система заштите, уз обезбеђен приступ брањеном подручју посредством рампи, насипских капија и пратећих објеката. Применом мера стабилизације косина и заштите конструктивних елемената обезбеђује се дугорочна трајност одбрамбене линије и њено прилагођавање условима терена. У целини посматрано, реализовано решење представља ефикасан модел заштите од поплава, који доприноси повећању безбедности становништва, очувању имовине и одрживом управљању приобалним простором дуж реке Лим.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубомир М. Савић (2009), Увод у хидротехничке грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.
- [2] Проф. Др Срђан Колаковић (скрипта), Хидротехнички објекти и системи, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [3] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река - Радови и грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [4] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река – Речна хидраулика и морфологија, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [5] Јавно водопривредно предузеће „Србијаводе“. Критеријуми заштите од великих вода. Београд
- [6] Прохаска, С., и сар. (2014). Интензитети јаких киша у Србији. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.
- [7] Милићевић, М. (2001). Уређење водотокова. Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.

Кратка биографија



Милан Туфегџић рођен је у Врбасу 1996. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство-Хидротехника одбранио је 2026. године.
Контакт: tufegmi@gmail.com

Уређење реке Штире узводно од постојеће регулације

Regulation of the river Štira upstream of the existing regulation

Андреја Николић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО,
ХИДРОТЕХНИКА

Кратак садржај – У оквиру рада се сагледава уређење реке Штире на деоници узводно од постојеће градске регулације у Лозници, са аспекта заштите од великих вода и обезбеђивања стабилног режима течења. Анализа обухвата испитивање природних и просторних карактеристика сливног подручја, дефинисање меродавних протицаја великих вода применом хидролошких метода, као и хидрауличку анализу постојећег и разматраног регулисаног стања корита. У оквиру рада разматра се пропусна моћ корита, појава изливања воде у постојећем стању и могућности примене регулационих грађевина у циљу смањења ризика од плављења. Хидраулички прорачуни спроведени су применом једнодимензионалног модела у програмском пакету HEC-RAS, а добијени резултати представљају основу за дефинисање техничког решења уређења водотока.

Кључне речи (три до пет): Велике воде, поплавни талас, хидролошка и хидрауличка анализа, HEC-RAS, SCS метода, пропусна моћ и стабилност корита, регулација водотока

Abstract – As part of the work, the regulation of the Štira river in the reach upstream of the existing urban regulation in Loznica is considered from the perspective of flood protection and ensuring a stable flow regime. The analysis includes the assessment of natural and spatial characteristics of the catchment area, the determination of design flood discharges using hydrological methods, and a hydraulic analysis of the existing and the considered regulated channel conditions. The study addresses the channel conveyance capacity, the occurrence of overtopping under existing conditions, and the applicability of river training structures aimed at reducing flood risk. Hydraulic computations were performed using a one-dimensional model in the HEC-RAS software, and the obtained results provide the basis for defining the technical solution for river regulation.

Keywords: (three to five): Flood flows, flood wave, hydrological and hydraulic analysis, HEC-RAS, SCS method, channel conveyance capacity and stability, river regulation

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

1. УВОД

Мањи водотоци представљају један од најосетљивијих елемената водног система, посебно у условима повећане учесталости екстремних падавина и изражених климатских промена. Због ограничене пропусне моћи корита и кратког времена концентрације отицаја, ови водотоци су склони наглом формирању поплавних таласа, што често доводи до изливања воде и угрожавања приобаљног простора [4]. Типичан пример мањег водотока у Србији је река Штира, која је предмет овог рада.

Река Штира је десна притока реке Дрине и протиче кроз подручје западне Србије, при чему својим током обухвата како брдске, тако и равничарске делове сливног подручја. Извориште реке налази се на падинама западне Борање, где се главни ток формира спајањем више изворишних кракова. Након изворишне зоне, река тече у правцу северозапада ка граду Лозници, где се у доњем делу тока улива у реку Дрину.

Слив реке Штире карактерише издужен облик и релативно мала површина, што условљава кратко време концентрације отицаја и изражену осетљивост на интензивне падавине [5]. У узводном делу слива доминира брдски терен са већим падовима, док се у доњем делу развија равничарска долина са благим нагибима и ширим поплавним простором. Оваква морфолошка разноликост условљава различите услове течења и транспортне способности дуж водотока.

Корито реке Штире показује значајне промене геометријских карактеристика дуж тока. У изворишном и средњем делу корито је уско и релативно дубоко, са израженим падовима и повећаним брзинама течења, док у доњем делу тока долази до проширења корита и смањења нагиба, што погодује таложењу наноса и изливању воде при већим протицајима. Доњи део тока кроз град Лозницу је регулисан и прилагођен урбаним условима, док узводно корито задржава природне морфолошке карактеристике и недовољну пропусну моћ за пролаз великих вода.

Оваква комбинација регулисаног и нерегулисаног дела тока доводи до сложених хидролошких и хидрауличких односа, посебно током периода обилних падавина, што представља основни разлог за разматрање мера уређења реке Штире на предметној деоници.

Предмет овог рада је сагледавање услова течења и разматрање могућности уређења реке Штире на деоници узводно од постојеће градске регулације, са циљем смањења ризика од плавлeња и обезбеђивања стабилног режима течења при великим водама.

2. ХИДРОЛОШКА АНАЛИЗА

Циљ хидролошке анализе у оквиру овог рада је одређивање карактеристичних протицаја великих вода за слив реке Штире, уз уважавање природних карактеристика сливног подручја и климатских услова.

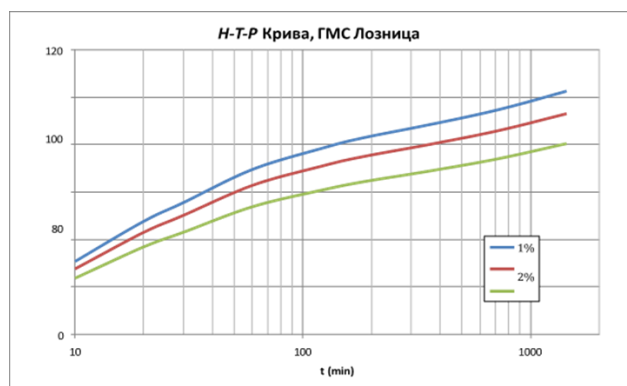
Интензитети јаких киша дефинисани су применом редуccionих кривих, утврђених на основу осматрања на главној метеоролошкој станици Лозница [8]. Редуccionоне криве формиране су на основу односа максималних висина падавина краћег трајања и одговарајућих максималних дневних падавина, према зависности датог једначином (1)

$$\psi_p^{(\tau)} = \frac{P_{max,p}(\tau)}{P_{max,dn,p}} \quad (1)$$

У циљу иновирања и усклађивања Н–Т–Р криве са новијим подацима, извршена је статистичка анализа максималних дневних падавина за период од 1952. до 2017. године, укључујући и мерења у периоду 2009–2017 [8]. Максималне висине падавина краћег трајања за поједине интервале трајања τ и вероватноће појаве p одређене су применом једначине (2).

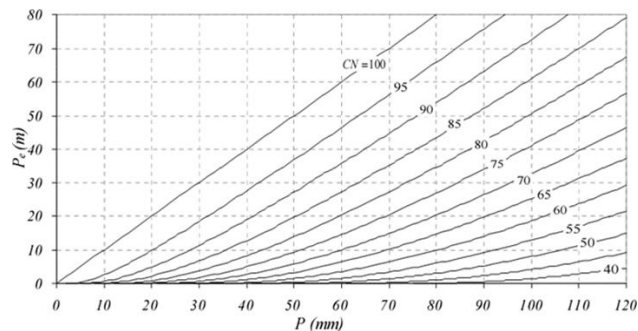
$$P_{\tau,p} = P_{max,dn,p} * \Psi(\tau) \quad (2)$$

Где $P_{max,dn,p}$ представља максималну дневну падавину вероватноће појаве p , а $\Psi(\tau)$ ординату редуccionоне криве јаких киша. На основу наведеног поступка дефинисана је меродавна Н–Т–Р крива, приказана на слици 1 [7].



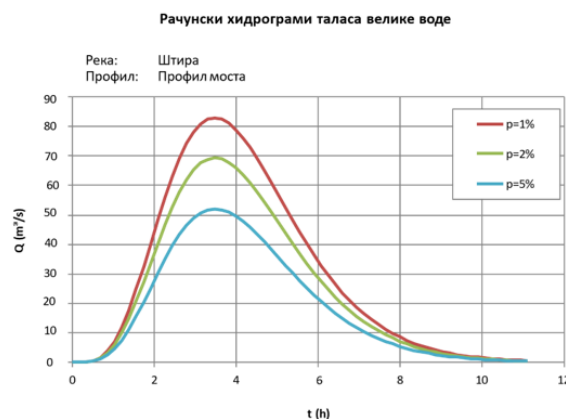
Слика 1. НТР зависност за ГМС Лозница

Ефективне падавине одређене су применом SCS методе, при чему је анализиран однос укупне и ефективне кише. Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи указује на утицај инфилтрације, задржавања воде у сливу и осталих губитака на формирање протицаја (слика 2) [5].



Слика 2. Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи

На основу одређених ефективних падавина и примене методе синтетичког јединичног хидрограма формиран су рачунски хидрограми поплавних таласа великих вода [6]. Спроведеним поступком прорачуна добијени су максимални протицаји за вероватноће појаве $p=1\%$, $p=2\%$ и $p=5\%$, односно за повратне периоде од 100, 50 и 20 година. Рачунски хидрограм поплавног таласа великих вода приказан је на слици 3. Анализа добијених рачунских хидрограма омогућава сагледавање динамике поплавног таласа и интензитета протицаја за различите вероватноће појаве.



Слика 3. Рачунски хидрограм таласа велике воде

На основу спроведеног хидролошког прорачуна као меродавни протицај за димензионисање мера уређења корита усвојен је протицај велике воде вероватноће појаве 1%, који износи $Q_{1\%} = 82,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Усвојени меродавни протицај представља основни улазни параметар за хидрауличку анализу постојећег и регулисаног стања корита реке Штире и проверу пропусне моћи водотока.

3. ХИДРАУЛИЧКА АНАЛИЗА

Хидрауличка анализа представља наставак хидролошке анализе и има за циљ да, на основу меродавних протицаја, сагледа понашање тока реке Штире у постојећем и разматраном стању [3]. Док хидролошка анализа обезбеђује улазне протицаје, хидрауличка анализа омогућава одређивање нивоа воде, брзина течења и услова протицаја дуж посматране деонице водотока.

Анализа је извршена применом једнодимензионалног (1D) хидрауличног модела у програмском пакету HEC-RAS за устаљено течење [3]. Посебна пажња посвећена је анализи појаве изливања воде из корита, сагледавању услова течења у постојећем и разматраном регулисаном стању корита, утврђивању пропусне моћи водотока за пролаз меродавних великих вода, промени нивоа воде и утицају предложених регулационих мера на стабилност режима течења. [3]

Основна једначина одржања енергије, чијим решавањем се одређује ниво воде у задатим профилима, има облик дат једначином (2) [3].

$$Y_2 + Z_{dna,2} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_{dna,1} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

Једначина се решава итеративним поступком, по деоницама ограниченим суседним попречним профилима, при чему се губици енергије услед трења и локалних отпора одређују применом Манингове формуле [3].

За хидраулички прорачун усвојен је низводни гранични услов. Низводни гранични услов дефинисан је као нормална дубина, односно као просечан нагиб линије нивоа воде који одговара нагибу дна корита [1].

Рачунски модел формиран је на основу геометрије корита дефинисане попречним профилима, уз усвајање одговарајућих Манингових коефицијената храпавости за минор корито и приобални простор. Гранични услови дефинисани су применом карактеристичних протицаја добијених хидролошком анализом, који су коришћени за проверу режима течења и пропусне моћи корита [1].

За потребе хидрауличног прорачуна анализирани су меродавни и рачунски протицаји. Наведени протицаји коришћени су за анализу постојећег и регулисаног стања корита, при чему је као основни меродавни протицај за димензионисање усвојен протицај велике воде вероватноће појаве 1%, $Q_{1\%} = 82,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Хидрауличком анализом постојећег стања утврђено је да корито реке Штире нема довољну пропусну моћ за пролаз меродавних великих вода, при чему у појединим попречним профилима долази до изливања воде из корита већ при мањим протицајима. Анализа нивоа воде и брзина течења показала је неуједначен распоред брзина, као и локално повећане вредности које могу довести до ерозије дна и косина корита [2].

У оквиру прорачуна посебно су анализирани брзине течења, као и тангенцијалних напона и Фрудовога броја, што је омогућило свеобухватну оцену хидрауличног режима.

Резултати указују да је течење у регулисаном кориту углавном субкритично, са стабилним условима течења и равномернијом расподелом хидрауличких параметара у односу на постојеће стање.

Упоредна анализа постојећег и регулисаног стања показује да предложено техничко решење доводи до смањења нивоа воде, уједначавања брзина течења и

значајног побољшања стабилности корита. На основу спроведених прорачуна може се закључити да регулисано корито обезбеђује безбедан пролаз меродавних великих вода и значајно смањење ризика од плавлена приобалног подручја.

4. ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ У РЕГУЛАЦИОНЕ ГРАЂЕВИНЕ

Техничко решење уређења реке Штире на деоници узводно од постојеће градске регулације заснива се на резултатима спроведених хидролошких и хидрауличких анализа, са циљем повећања пропусне моћи корита, смањења ризика од плавлена и обезбеђивања стабилног режима течења при меродавним великим водама. Примењен је скуп регулационих мера и грађевина, усклађених са морфолошким карактеристикама водотока и локалним хидрауличким условима, при чему је избор и распоред интервенција прилагођен уоченим проблемима у кориту и приобалном простору.

За заштиту од поплава на предметној деоници предвиђени су заштитни насипи на левој и десној обали водотока, којима се обезбеђује заштита приобалног простора и пратеће инфраструктуре од дејства меродавних великих вода [1]. Траса насипа дефинисана је тако да се минимизује заузимање околног земљишта и обезбеди континуитет заштите брањеног подручја, уз поуздано укореењавање у виши терен на крајевима деонице. Облик и конструкција насипа прилагођени су хидротехничким захтевима, уз примену биотехничких мера ради стабилизације косина, заштите од ерозије и бољег уклапања у природно окружење [9].

У циљу стабилизације корита и обезбеђивања повољних хидрауличких услова, предвиђено је извођење обалоутврда дуж читавог минор корита, као и дуж небрањених косина заштитних насипа. Примена камене облоге заливене цементним малтером омогућава заштиту дна и обала од ерозије, смањење хидрауличких отпора и повећање пропусне моћи водотока при великим водама, чиме се обезбеђује дуготрајна стабилност регулисаног корита [2].

На појединим деоницама водотока предвиђена је израда просека корита, као значајна регулациона мера за побољшање услова течења и стабилизацију трасе корита. Просецима се обезбеђује концентрисање протицаја у дефинисаном профилима, исправљање неповољне геометрије и смањење ерозионих процеса који су у постојећем стању довели до израженог меандрирања и локалних сужења [2]. На овим деоницама примењен је правилан трапезни попречни профил, који обезбеђује адекватну пропусну моћ и повољне услове транспорта воде и наноса, уз рационално коришћење ископаног материјала за уређење терена.

Ради смањења подужног пада реке Штире, ограничења ерозионе моћи тока и стабилизације подужног профила, примењене су каскаде као попречне регулационе грађевине. Каскаде су позициониране на местима прелома нивелете и промене типског

попречног профила корита, чиме је обезбеђено њихово функционално и конструктивно уклапање у трасу регулације. Типске армирано-бетонске каскаде, са геометријом усклађеном са профилем корита, додатно су осигуране каменом обалоутврдом, чиме се спречава подлокавање и локална ерозија и обезбеђује уједначен и стабилан режим течења [2].

Поред наведених мера, предвиђено је проширење и профилисање минор корита формирањем типског попречног пресека, који обезбеђује безбедан пролаз меродавних великих вода у оквиру јединственог система регулационих мера. Дуж целе регулисане деонице планирано је чишћење корита од постојеће вегетације, жбуња и коренских система који умањују протицајни профил. Овом мером смањују се хидраулички отпори, повећава пропусна моћ корита и обезбеђују повољнији услови течења, као и стабилност регулисаног профила и правилно функционисање осталих регулационих грађевина [1].

Дуж предметне деонице евидентирани су постојећи и планирани објекти који утичу на режим течења и који су усклађени са решењем уређења корита. Постојећи водозахват за воденицу задржава се, уз локално уређење корита и контролисано захватање воде, док је за планирани нови водозахват дата концептуална препорука повољнијег позиционирања у зони каскаде. Постојећи саобраћајни мостови, чији протицајни профили нису довољни за пролаз меродавних великих вода, предвиђени су за уклањање и замену новим мостовским конструкцијама одговарајућег распона. Дуж целе регулисане деонице обезбеђен је сервисни пут, који омогућава приступ и редовно одржавање корита и регулационих објеката.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведених анализа може се закључити да предложено решење регулације реке Штире представља технички оправдан, хидраулички ефикасан и просторно прихватљив модел уређења водотока. Применом међусобно усклађених регулационих мера обезбеђује се стабилан и контролисан режим течења при великим водама, уз значајно повећање пропусне моћи корита и смањење ризика од плављења приобалног подручја. Истовремено, предложено решење доприноси стабилизацији корита и смањењу ерозионих процеса, чиме се обезбеђује дугорочна функционалност и одрживост речног система.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубомир М. Савић (2009), Увод у хидротехничке грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.
- [2] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река - Радови и грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [3] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река – Речна хидраулика и морфологија, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.

[4] Др Марина Бабић Младеновић (2018), Уређење водотока

[5] Јовановић, С. (1989). Хидрологија. Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.

[6] Брајковић, М., Јовановић, С. (1989). Синтетички јединични хидрограми за сливове у Србији. Водопривреда, бр. 3–4, Београд.

[7] Прохаска, С., и сар. (2014). Интензитети јаких киша у Србији. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.

[8] Републички хидрометеоролошки завод Србије (РХМЗ). Хидролошки и метеоролошки подаци за ГМС Лозница, период 1952–2017.

[9] Милићевић, М. (2001). Уређење водотокова. Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.

Кратка биографија:



Андреја Николић рођена је у Сомбору 1992. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство-Хидротехника одбранила је 2026. године.

Контакт:

andrejanik26692@gmail.com

Примена рециклираног бетона у префабрикованим грађевинским елементима

Application of Recycled Concrete in Prefabricated Construction Elements

Никола Јовановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај – Грађевински сектор истовремено троши велике количине природних ресурса и генерише значајне количине грађевинског отпада, при чему бетонски шут чини важан део тог тока. Рециклирани бетон, најчешће кроз примену рециклираног бетонског агрегата (RCA), представља одрживо решење које омогућава смањење потребе за експлоатацијом природног агрегата и смањење одлагања отпада. У раду се анализира примена рециклираног бетона у префабрикованим елементима са фокусом на утицај RCA на обрадивост, механичка својства, дуготрајне деформације и трајност, као и на технолошке мере које обезбеђују стабилан квалитет у фабричким условима. Уз појачану контролу квалитета рециклирани агрегат се може поуздано користити у префабрикацији.

Кључне речи: рециклирани бетон, рециклирани агрегат, префабрикација.

Abstract – The construction sector consumes large amounts of natural resources while generating significant volumes of construction and demolition waste, with concrete rubble being a major fraction. Recycled concrete, primarily through recycled concrete aggregate (RCA), offers a sustainable pathway to reduce the use of virgin aggregates and minimize landfill disposal. This paper reviews the use of recycled concrete in prefabricated elements, focusing on workability, mechanical performance, long-term deformation, and durability, as well as on production measures that ensure consistent quality under factory conditions. With enhanced quality control, recycled aggregate can be reliably used in prefabrication.

Keywords: recycled concrete, recycled aggregate, prefabrication.

НАПОМЕНА: Овај рад је проистекао из мастер рада чији је ментор био проф. др Милан Тривунић

1. УВОД

Пораст реконструкција, рушења и инфраструктурних радова доводи до повећања количина грађевинског отпада, а бетонски отпад је међу најзаступљенијим фракцијама. Његова прерада у рециклирани бетонски агрегат (RCA) омогућава поновну употребу

материјала, али уводи и специфичности у понашању бетона због прионулог старог малтера, повећане порозности и веће водоупијања агрегата. Управо због тога, кључни изазов представља стабилност свежег бетона и контрола перформанси очврслог бетона. Префабрикација је повољан оквир за примену RCA јер фабрички услови омогућавају стандардизовано дозирање, контролу влаге, контролисано збијање и режиме неге. Истовремено, префабриковани елементи често имају строже захтеве у погледу поновљивости својстава и трајности, па се примена RCA мора заснивати на контроли процеса и јасним критеријумима прихватљивости

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Рад је теоријско-аналитичког карактера и заснива се на систематском прегледу и синтези релевантне научне и стручне литературе која се бави утицајем рециклираног бетонског агрегата на својства бетона, са посебним освртом на могућности његове примене у префабрикованим грађевинским елементима. Анализа обухвата преглед експерименталних, прегледних и компаративних студија које разматрају понашање бетона са различитим процентима замене природног агрегата рециклираним агрегатом. Литература је анализирана са циљем идентификовања кључних фактора који утичу на технолошка, механичка и трајносна својства бетона у условима контролисане фабричке производње.

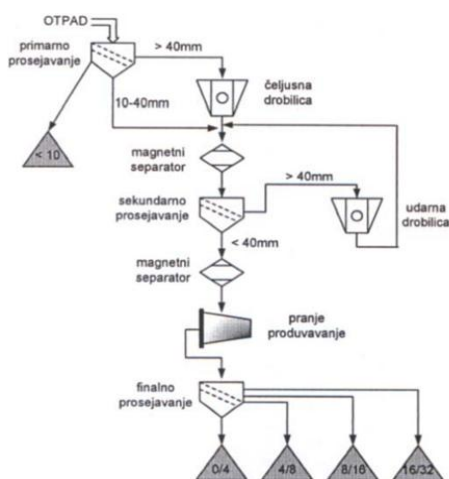
Посебан акценат стављен је на утицај карактеристика рециклираног агрегата, пре свега водоупијања и присуства прионулог цементног малтера, на обрадивост свежег бетона и развој притисне чврстоће. У том контексту разматране су и различите технолошке мере које се примењују ради ублажавања негативних ефеката повећане порозности РЦА.

У оквиру прегледа литературе анализирани су промене механичких својстава бетона, првенствено притисне чврстоће и крутости, у зависности од процента замене природног агрегата рециклираним агрегатом. Посебна пажња посвећена је поређењу резултата за ниске, средње и високе нивое замене, као и утицају оптимизације састава мешавине на остварене перформансе бетона.

Такође су разматрана питања трајности и дуготрајног понашања бетона са рециклираним агрегатом, укључујући отпорност на дејство спољашњих утицаја,

као и појаву скупљања и пузења. Анализа је усмерена на идентификовање услова под којима се могу постићи прихватљиви трајносни показатељи, нарочито у контексту префабрикације, где су режими збијања и неге стандардизовани.

На основу синтезе анализираних извора, издвојене су производне мере релевантне за примену у префабрикацији, као што су предквашење рециклираног агрегата, корекција ефективног водоцементног односа, употреба хемијских и минералних додатака, као и увођење систематске контроле квалитета. Добијени налази коришћени су за формулисање практичних смерница и дискусију о могућностима поуздане примене рециклираног агрегата у префабрикованим бетонским елементима.



Слика 1. Технолошка шема процеса рециклаже бетона [1]

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3.1. Обрадивост и технолошка погодност у фабричким условима

Рециклирани крупни агрегат (RCA) карактерише веће водоупијање и израженија храпавост површине у поређењу са природним агрегатом, што се директно одражава на обрадивост свежег бетона. Повећано водоупијање последица је присуства прионулог цементног малтера и веће укупне порозности зрна, због чега део воде из мешавине постаје недоступан за формирање цементне пасте. Као резултат тога, при неадекватној контроли може доћи до смањења слампа, бржег губитка конзистенције и отежане уградње бетона. Истраживања указују да стање влаге природног и рециклираног агрегата значајно утиче на обрадивост и остварену притисну чврстоћу, па се контрола влаге, укључујући предквашење RCA, сматра једном од кључних мера за стабилан технолошки процес [2].

У префабрикацији, где се производња одвија у поновљивим и контролисаним условима, управљање обрадивошћу има посебан значај. За разлику од градилишних услова, фабричка производња омогућава прецизно дозирање компонената, контролу времена мешања и транспорта, као и стандардизоване режме збијања и неге. Тиме се смањује варијабилност између производних серија, што је нарочито важно код бетона са RCA, код којих је

осетљивост на промене у влажности агрегата израженија. Кратко време од мешања до уградње у калупе додатно умањује негативан утицај упијања воде и доприноси уједначеном понашању свежег бетона.

Поред класичних показатеља обрадивости, у префабрикацији се посебна пажња посвећује способности бетона да испуни калупе, оствари добар квалитет ивица и задовољавајући површински изглед готових елемената. Храпава структура RCA може повећати унутрашње трење у свежој мешавини, што захтева прилагођавање гранулометријског састава, повећан удео ситних фракција или примену хемијских додатака. Увођење ових корективних мера у контролисаном фабричком окружењу омогућава постизање стабилне обрадивости и поузданог технолошког процеса.

3.2. Механичка својства

Бројна експериментална истраживања указују да повећање процента замене природног агрегата рециклираним агрегатом може довести до умереног смањења притисне чврстоће бетона.

Овај ефекат се углавном приписује слабијим механичким својствима прионулог цементног малтера на зрима RCA и мање повољној контактної зони између агрегата и нове цементне пасте. Смањење чврстоће је најчешће израженије при високим нивоима замене, док су при ниским и средњим уделима RCA разлике у односу на референтни бетон знатно мање.

Прегледна истраживања показују да бетон са ниским и средњим процентима замене природног агрегата RCA-ом може остварити притисне чврстоће које су довољне за велики број конструктивних и неконструктивних примена, под условом да је састав мешавине правилно пројектован [3]. У том контексту, значајну улогу имају оптимизација водоцементног односа, избор одговарајуће гранулометријске криве и примена додатака који побољшавају структуру цементне пасте.

У префабрикацији је питање механичких својстава уско повезано са захтевима за поновљивост и контролу квалитета. Многи префабриковани елементи не захтевају екстремно високе вредности притисне чврстоће, већ стабилне и предвидиве механичке карактеристике које омогућавају сигурну производњу, складиштење и транспорт. У том смислу, умерено смањење чврстоће које се јавља код бетона са RCA може бити прихватљиво, посебно када се надокнади бољом контролом процеса и доследношћу производње у фабричким условима.

3.3. Трајност и дуготрајне деформације

Трајност бетона са рециклираним агрегатом често се истиче као један од критичних аспеката његове примене, првенствено због веће порозности и водоупијања RCA. Ове карактеристике могу довести до повећане пропустљивости бетона, што потенцијално утиче на отпорност на дејство мрза и одмрзавања, продор хлорида и брзину карбонизације. Дуготрајне деформације, као што су скупљање и пузање, такође могу бити израженије услед слабије

крутости агрегата и већег учешћа порозних зона у структури бетона. Међутим, истраживања која разматрају истовремену употребу финог и грубог рециклираног агрегата указују да се, уз пажљиво пројектовање мешавине, може постићи прихватљив ниво трајности и дуготрајних својстава, нарочито при умереним процентима замене [4].

Оптимизација садржаја цемента, примена минералних додатака и одговарајући режими неге имају значајну улогу у смањењу негативних ефеката повећане порозности.

Фабрички услови производње додатно доприносе побољшању трајности бетона са RCA. Контролисано збијање и стандардизована нега омогућавају формирање гушће микроструктуре и смањење капиларне порозности, чиме се умањују потенцијални негативни утицаји рециклираног агрегата на дугорочно понашање бетона. Тиме се повећава поузданост префабрикованих елемената израђених са делимичном или потпуном заменом природног агрегата.

3.4. Практичне смернице за увођење у префабрикацију

За индустријску примену бетона са рециклираним агрегатом препоручује се постепена имплементација, уз јасно дефинисане критеријуме пријема RCA. Ови критеријуми обухватају контролу гранулометријског састава, нивоа контаминације, запреминске масе и водоупијања агрегата. Посебна пажња мора се посветити контроли влаге агрегата и прилагођавању рецептуре бетона како би се обезбедила стабилна обрадивост и уједначена механичка својства.

Прегледне анализе употребе рециклираног агрегата наглашавају да су систематска контрола квалитета и стандардизација производног процеса кључни услови за поуздану примену у пракси [5].

Префабрикација представља посебно погодно окружење за увођење ових мера, јер омогућава интегрисање контролних тачака у постојећи систем производње. На тај начин се смањује технолошки ризик и стварају предуслови за ширу примену рециклираног агрегата у префабрикованим грађевинским елементима.



Слика 2. Префабрикациона хала са бетонским елементима у фази очвршћавања [6].

4. ЗАКЉУЧАК

На основу прегледа релевантне научне и стручне литературе и анализе кључних утицаја рециклираног бетонског агрегата на својства бетона, може се закључити да примена рециклираног бетона у префабрикованим грађевинским елементима представља технички изводљиву и функционално оправдану опцију, нарочито у случајевима делимичне замене природног агрегата. Анализирани резултати указују да негативни ефекти повезани са већим водоупијањем и порозношћу рециклираног агрегата могу бити значајно умањени применом одговарајућих технолошких мера у фази пројектовања и производње бетона.

Контрола влаге и водоупијања рециклираног агрегата идентификована је као један од кључних фактора поузданости, јер директно утиче на обрадивост свежег бетона, развој механичких својстава и уједначеност квалитета готових елемената. Оптимизација састава мешавине, укључујући корекцију ефективног водоцементног односа и примену одговарајућих додатака, омогућава постизање механичких својстава и трајности који су прихватљиви за широк спектар префабрикованих производа.

Префабрикација, као облик производње у контролисаним фабричким условима, показује посебне предности у примени рециклираног агрегата због могућности стандардизације процеса, поновљивости производних серија и систематске контроле квалитета. Овакав производни оквир омогућава постепено увођење рециклираног агрегата кроз унапред дефинисане нивое замене, уз спровођење пробних серија и континуирано праћење перформанси бетона и готових елемената.

На основу анализираних налаза може се закључити да префабриковани бетонски елементи представљају погодну полазну тачку за ширу индустријску примену рециклираног агрегата.

Такав приступ омогућава истовремено остваривање техничких захтева, очување природних ресурса и смањење количине грађевинског отпада, уз очување потребног нивоа сигурности и квалитета у грађевинској пракси.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://web1.grf.bg.ac.rs/learning/4_predavanje_sp_ecijalni_beton (приступљено у децембру 2025.)
- [2] Poon, C.-S., Shui, Z.-H., Lam, L., Fok, H., & Kou, S.-C. (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 31–36.
- [3] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). The influence of the use of recycled aggregates on the compressive strength of concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 593–603.
- [4] Pedro, D., de Brito, J., & Evangelista, L. (2017). Structural concrete with simultaneous incorporation of

fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties. Construction and Building Materials, 154, 294–309.

[5] Tam, V. W. Y., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). Construction and Building Materials, 172, 272–292.

[6] <https://bukpromet.com/djelatnost/5-ab-prefabrikovane> (приступљено у децембру 2025.)

Кратка биографија:



Никола Јовановић рођен је 2001. године у Чачку. Завршио је Средњу машинску техничку школу у Краљеву. Године 2023. уписао је студијски модул Грађевинарство на ФТН у Новом Саду. Дипломски рад одбранио је у октобру 2024. године.

Контакт:
nikola44321@gmail.com

Имплементација ВИМ-а у фази извођења радова применом АР технологија***Implementation of BIM in the Construction Phase Using AR Technologies***

Стефан Мандић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм - ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај - У раду је разматрана интеграција ВИМ технологије са технологијама проширене реалности (Augmented Reality – AR) у фази извођења грађевинских радова. Анализирани су технички аспекти ВИМ–АР интеграције, као и практичне примене АР технологија на градилишту, укључујући приказ скривених елемената, детекцију колизија, подршку монтажи и унапређење контроле квалитета (QA/QC). Такође је извршена анализа платформи које омогућавају имплементацију ВИМ-а путем АР технологија. Резултати указују да ВИМ–АР интеграција може значајно допринети унапређењу координације и ефикасности извођења грађевинских радова.

Кључне речи: ВИМ, проширена реалност, АР технологије, фаза извођења радова,

Abstract – The paper examines the integration of Building Information Modeling (BIM) technology with Augmented Reality (AR) technologies during the construction phase. Technical aspects of BIM–AR integration are analyzed, as well as practical applications of AR technologies on construction sites, including the visualization of concealed elements, collision detection, assembly support, and the enhancement of quality assurance and quality control (QA/QC). In addition, an analysis of platforms enabling BIM implementation through AR technologies is conducted. The results indicate that BIM–AR integration can significantly contribute to improving coordination and efficiency in construction execution.

Keywords: BIM, augmented reality, AR technologies, construction phase

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

1. УВОД

Савремено грађевинарство пролази кроз интензивну дигиталну трансформацију. Иако је ВИМ широко примењен у фазама пројектовања и координације, његов потенцијал у фази извођења радова још увек није у потпуности искоришћен. Ова фаза је најкритичнија, јер подразумева трансформацију

дигиталног модела у физичку реалност, уз висок ризик од грешака, кашњења и неусклађености између струка. Као одговор на ове изазове, све већу примену има интеграција ВИМ технологије са технологијама проширене реалности (Augmented Reality – AR), које омогућавају преклапање дигиталног модела са реалним окружењем градилишта. На тај начин обезбеђује се директна просторна и информациона контрола у реалном времену. Предмет овог рада је анализа примене ВИМ технологије у фази извођења радова кроз интеграцију са АР технологијама, са посебним освртом на техничке аспекте ВИМ–АР интеграције и практичне сценарије примене на градилишту. Циљ рада је сагледавање ефеката оваквог приступа на унапређење контроле квалитета, координације и ефикасности извођења радова.

2. АР ТЕХНОЛОГИЈА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Проширена реалност (Augmented Reality – AR) представља технологију која омогућава суперпонирање дигиталних информација и виртуелних објеката на реално окружење у реалном времену. За разлику од класичних дигиталних приказа који су ограничени на екране рачунара или мобилних уређаја, АР омогућава кориснику да истовремено посматра физички простор и дигитални садржај који је просторно и контекстуално повезан са реалним окружењем. Дигитални садржај се не приказује изоловано, већ се прецизно позиционира у простору у односу на корисника, чиме се ствара осећај да виртуелни елементи постоје у стварном окружењу. У грађевинарству, ова способност омогућава директно визуелно поређење пројектованог и изведеног стања на градилишту.

Принцип функционисања АР система заснива се на комбинацији сензора, камере и софтверских алгоритама. Камера уређаја региструје реално окружење, док сензори (акцелерометри, жирокопи, GNSS, LiDAR) омогућавају одређивање положаја и оријентације корисника у простору. На основу тих података, софтвер врши просторну трансформацију ВИМ модела и приказује га у одговарајућем положају и размери. Тачност АР приказа директно зависи од квалитета сензора, калибрације система и прецизности улазних података.

У грађевинарству се АР технологија најчешће користи путем мобилних уређаја, таблета и специјализованих АР наочара. Мобилни уређаји

омогућавају брзу и приступачну примену AR-а, али су ограничени величином екрана и ергономијом.

Примена AR технологије у грађевинарству омогућава унапређење разумевања пројектне документације, смањење ризика од грешака и побољшање координације између учесника у процесу извођења. Када се AR технологија интегрише са BIM моделима, дигитални подаци престају да буду апстрактни прикази на екрану и постају директан алат за контролу, проверу и доношење одлука на градилишту [1].

3. ИНТЕГРАЦИЈА BIM-А И AR ТЕХНОЛОГИЈА У ФАЗИ ИЗВОЂЕЊА

Интеграција BIM-а и AR технологија у фази извођења представља прелазак са традиционалног, документационо-оријентисаног управљања градилиштем на приступ у којем се информације из дигиталног модела активно користе у реалном простору, током самог извођења. BIM обезбеђује структуриран и стандардизован скуп података о објекту (геометрија, позиционирање, својства елемената, фазе уградње), док AR омогућава да се ти подаци прикажу контекстуално — у реалним димензијама, на стварној локацији и у тренутку када су потребни. Тиме се значајно смањује јаз између пројектне намере и физичке реализације, посебно у сложеним деловима објекта као што су инсталационе зоне, техничке етаже и простори са високим степеном колизијских ризика [2].

У пракси, интеграција BIM-а и AR-а није један корак, већ процес који обухвата:

- пренос и припрему BIM модела за AR окружење
- правилно позиционирање (геолокацију) модела на градилишту,
- калибрацију, скалирање и поравнање у односу на реално стање,

Недовољно припремљен модел или погрешна регистрација на терену могу умањити вредност AR примене, без обзира на квалитет хардвера.

3.1. Технички процес преноса BIM модела у AR окружење

Квалитет AR приказа на градилишту директно зависи од начина на који је BIM модел припремљен, оптимизован и повезан са реалним простором. За разлику од BIM модела намењених пројектовању или анализи, модели за AR примену морају бити прилагођени визуализацији у реалном времену и ограничењима AR хардвера. У фази припреме BIM модела врши се селекција елемената релевантних за конкретну фазу извођења. Непотребни детаљи, декоративни елементи и сложени параметарски описи који немају директну оперативну вредност уклањају се или искључују. Посебан значај има прилагођавање нивоа детаљности (LOD), где се тежи оптималном

односу између визуелне прецизности и техничке изводљивости AR приказа [2].

3.2. Геолокација BIM модела у AR окружењу градилишта

Без тачног просторног позиционирања дигиталног модела у односу на реално окружење, AR приказ губи своју основну функцију – прецизно преклапање пројектованих и стварних елемената. За разлику од класичне BIM визуализације, где се модел посматра у апстрактном дигиталном простору, AR захтева јасно дефинисан однос између координатног система BIM модела и координатног система градилишта. Овај однос мора бити усклађен са геодетском основном објекта и задовољити захтеве грађевинских толеранција. У пракси, BIM модели се најчешће развијају у локалном координатном систему, док се градилиште ослања на глобални или званични геодетски координатни систем. Због тога је неопходно спровести трансформацију модела која обухвата транслацију, ротацију и, по потреби, скалирање. Процес геолокације мора узети у обзир и реална одступања на терену, као и фазност извођења објекта. Издвајају се три доминантна приступа позиционирању BIM модела у AR окружењу градилишта:

Позиционирање помоћу геодетских референтних тачака - Овај приступ обезбеђује највиши ниво тачности и најчешће се користи код конструктивних и инсталационих радова. Геодетске референтне тачке дефинисане тоталном станицом служе као основа за AR калибрацију, чиме се постиже позиционирање у оквиру грађевинских толеранција.

Позиционирање помоћу визуелних (фидуцијалних) маркера - Визуелни маркери, као што су QR кодови или AR маркери, постављају се на познате локације на објекту. AR систем их препознаје и на основу њих аутоматски позиционира BIM модел.

Позиционирање засновано на SLAM технологији - SLAM приступ користи камере и сензоре AR уређаја за истовремено мапирање простора и одређивање позиције. Овај метод је флексибилан и не захтева додатну опрему, али обезбеђује нижи ниво тачности [2].

3.3. AR приказ скривених инсталација

Предности примене проширене реалности (AR) у фази извођења грађевинских објеката огледају се у могућности визуализације скривених елемената и инсталација, који након бетонирања или затварања конструкције постају трајно недоступни директном визуелном надзору. Интеграцијом BIM модела са AR технологијом омогућава се извођачима, надзору и пројектантима да у реалном простору сагледају положај инсталација пре њихове уградње, али и током каснијих фаза извођења, чиме се значајно унапређује контрола квалитета и смањује ризик од грешака.

Примена AR технологије у овом контексту представља прелаз са класичне 2D и 3D документације ка просторно оријентисаном дигиталном приказу, где се BIM модел преклапа са реалним стањем на градилишту у реалном времену. У фазама извођења армирано-бетонских конструкција, нарочито код међуспратних плоча, зидова и вертикалних језгара, инсталације се уграђују пре бетонирања или затварања завршним слојевима. Грешке настале у овом тренутку често имају високе последичне трошкове. AR технологија, повезана са валидираним BIM моделом, омогућава прецизну контролу положаја инсталација ВиК, Електро и телекомуникационе инсталације, HVAC системи [2,3].

3.4. Детекција и анализа колизија у фази извођења помоћу AR-а

Традиционално, процес откривања колизија одвија се у пројектној фази применом софтверских алата за тзв. „clash detection“, међутим пракса показује да значајан број конфликта настаје или постаје уочљив тек у фази извођења. Разлози за то укључују одступања у изведеним димензијама, толеранције грађења, промене на градилишту, као и несклад између пројектованог и стварног стања.

Примена технологија проширене стварности (AR) омогућава проширење концепта детекције колизија из дигиталног окружења у реални простор градилишта. На тај начин се BIM модел, са свим припадајућим елементима, може просторно ускладити са физички изведеном конструкцијом и инсталацијама, чиме се омогућава идентификација потенцијалних и постојећих конфликта директно на лицу места [2,3].

3.5. Подршка монтажи и постављању елемената уз помоћ AR-а

На основу геореференцираног BIM модела, AR систем омогућава приказ тачног положаја стубова, зидова, греда, плоча, челичних елемената или резервација у реалном простору, у односу на постојеће референтне тачке објекта.

Процес започиње правилном калибрацијом AR система, при чему се BIM модел поравнава са физичким координатним системом градилишта.

Као референтне тачке могу се користити:

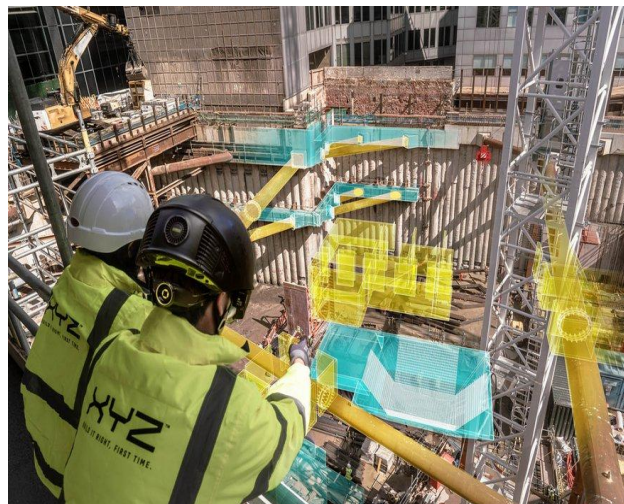
- постојећи конструктивни елементи,
- ласерски маркери,
- GNSS тачке

Након поравнања, корисник путем AR уређаја види дигитални приказ елемента „усидрен“ у простору, на тачно предвиђеној позицији. Овакав приступ омогућава проверу положаја пре саме монтаже, као и контролу током извођења, чиме се значајно смањује ризик од одступања у хоризонталном и вертикалном смислу [2,3].

3.6. Безбедност и заштита на раду уз помоћ AR

Примена проширене стварности (AR) у комбинацији са BIM моделима отвара нове могућности за унапређење система безбедности и заштите на раду, омогућавајући визуелну, контекстуалну и интерактивну идентификацију ризика директно у реалном простору градилишта. AR технологије омогућавају да се информације о безбедности не приказују више искључиво кроз статичне знакове, планове и писане процедуре, већ кроз динамичке и интуитивне приказе који су прилагођени стварној ситуацији на терену.

AR технологија представља изузетно ефикасан алат за обуку радника у области безбедности и заштите на раду, посебно у фази увођења нових запослених или при промени технологије извођења. Коришћењем AR симулација, радници могу бити изложени реалистичним, али контролисаним сценаријима опасности, без стварног ризика по њихово здравље [2].



Слика 1. Приказ конструкције уз коришћење AR [5]

4. АНАЛИЗА ПЛАТФОРМИ ЗА AR ИНТЕГРАЦИЈУ

Развој BIM-AR интеграције условио је појаву специјализованих софтверско-хардверских платформи које омогућавају примену проширене реалности у фази извођења грађевинских радова. Ове платформе се разликују по начину рада, нивоу просторне прецизности, врсти подржаних уређаја и степену интеграције са BIM екосистемом. Њихова анализа је од кључног значаја за разумевање реалних могућности и ограничења примене AR технологија на градилишту.

У пракси се AR-BIM платформе могу поделити на мобилно оријентисана решења, системе засноване на уређајима мешовите реалности и специјализоване системе са геодетском прецизношћу. Свака од ових група има своје предности и специфичне области примене.

Trimble – индустријски BIM-AR екосистем (XR10 + SiteVision)

Trimble је једна од ретких компанија која не посматра AR као изоловану технологију, већ као продужетак геодетског, BIM и градилишног процеса. Њихов приступ се заснива на интеграцији:

- BIM података,
- прецизног просторног позиционирања,
- индустријског хардвера прилагођеног градилишту,
- cloud платформи за сарадњу и размену података

За разлику од решења која користе комерцијалне AR наочаре без додатне заштите, Trimble је развио XR10 са HoloLens технологијом, који представља пунокрвни индустријски MR уређај, сертификован за употребу на градилишту.

Trimble XR10 није само AR наочаре, већ комплетан систем личне заштитне опреме (PPE). XR10 се састоји од индустријске заштитне кациге, интегрисаних MR наочара (базираних на Microsoft HoloLens 2 технологији), система за балансирање и ергономију, индустријске заштите од прашине, удараца и нечистоћа.

У пракси то значи да инжењер или надзор може шетати градилиштем, гледати BIM модел „преко“ стварног објекта и истовремено обављати инспекцију или монтажу [2].



Слика 2. Примена Trimble Connect платформе [2]

Trimble AR решења су директно повезана са Trimble Connect платформом, која служи као CDE окружење. Ток података је следећи:

- BIM модел се припрема и координира (Revit, Tekla, IFC),
- модел се поставља на Trimble Connect,
- XR10 или SiteVision преузимају модел,
- AR приказ се користи на терену за контролу, монтажу и верификацију.

За разлику од Trimble-, који полази од хардверске прецизности и специјализованих уређаја, Dalux TwinBIM је развијен са идејом да AR постане оперативни алат широке употребе на градилишту, а не искључиво инструмент за високо специјализоване задатке. Dalux полази од претпоставке да је највећа препрека примени AR-а у грађевинарству приступачност технологије, а не њене теоријске могућности. Dalux TwinBIM се стога не појављује као

засебан производ, већ као функционални модул унутар Dalux CDE екосистема, који већ обухвата:

- преглед и навигацију BIM модела,
- управљање документацијом,
- контролу квалитета (defects, issues),
- комуникацију између учесника пројекта [4].

Dalux TwinBIM се ослања искључиво на:

- паметне телефоне,
- таблете

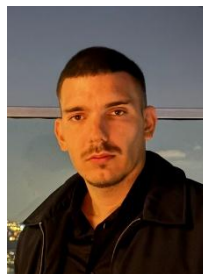
5. ЗАКЉУЧАК

Интеграција BIM и AR технологија у фази извођења грађевинских радова представља значајан корак ка унапређењу квалитета, ефикасности и безбедности процеса грађења. AR омогућава директно просторно повезивање BIM модела са реалним окружењем градилишта, чиме се побољшава разумевање пројектних решења, смањује ризик од грешака и унапређује координација учесника у процесу изградње. Иако су присутна одређена техничка и организациона ограничења, резултати рада показују да BIM-AR интеграција има значајан потенцијал за широку примену у савременој грађевинској пракси.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Aukstakalnis, „Practical Augmented Reality“, RR Donnelley, Indiana, 2016
- [2] <https://www.trimble.com/blog/construction/en-US/article/what-is-bim-building-information-modeling> (приступљено у фебруару 2026.)
- [3] <https://www.hsbcad.com/news/how-augmented-reality-is-taking-bim-to-the-next-level> (приступљено у фебруару 2026.)
- [4] <https://www.dalux.com> (приступљено у фебруару 2026.)
- [5] <https://www.datacenterdynamics.com/> (приступљено у фебруару 2026.)

Кратка биографија:



Стефан Мандић рођен је у Ужицу 1998. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство – одбранио је 2026. год.

Контакт: smandiicc@gmail.com



Решавање конфликта у компанији Beba & Beba doo

Conflict Resolution at Beba & Beba doo

Тамара Барић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ИНЖЕЊЕРСКИ МЕНАџМЕНТ

Кратак садржај - У раду се анализирају ставови запослених у компанији Beba & beba doo о конфликтима на раду и стратегијама њиховог решавања. Циљ је да се утврди које стратегије и приступи најефикасније доприносе смањењу конфликта и унапређењу лидерских и комуникационих пракси. Резултати показују да запослени највише вреднују отворену комуникацију и компромис, док тим билдинг активности имају мањи утицај. Закључује се да постоји потреба за јачањем тимске сарадње и прецизнијим дефинисањем улога ради ефикаснијег решавања конфликта.

Кључне речи – конфликти, стратегије решавања конфликта, лидерство, тимска сарадња, комуникација

Abstract – *The paper analyzes the attitudes of employees at Beba & beba doo regarding conflicts at work and strategies for resolving them. The aim is to determine which strategies and approaches contribute most effectively to reducing conflicts and improving leadership and communication practices. The results show that employees value open communication and compromise the most, while team building activities have a lesser impact. It is concluded that there is a need to strengthen team cooperation and more precisely define roles in order to resolve conflicts more effectively.*

Key words - *conflicts, conflict resolution strategies, leadership, team cooperation, communication*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била проф. др Бојана Јокановић

1. УВОД

Конфликти у организацијама представљају неизбежан феномен који може значајно утицати на продуктивност и радну атмосферу. Њихови узроци најчешће произилазе из различитих циљева, ограничених ресурса и комуникацијских баријера, а начин на који се решавају има пресудан значај за ефикасност тима и квалитет међуљудских односа. Савремене организације настоје да кроз адекватне стратегије управљања конфликтима и ангажовање лидера створе подстицајно радно окружење које унапређује сарадњу

и креативност. Циљ овог истраживања је да се утврди природа конфликта у радним колективима, анализирају њихови узроци и последице, као и да се испитају стратегије и улога лидерства у њиховом ефикасном решавању.

2. ТЕОРИЈСКО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕДМЕТА ИСТРАЖИВАЊА

Конфликти на радном месту настају услед међусобне зависности људи и различитих вредности које носе, а могу бити конструктивни ако се правилно решавају или деструктивни уколико се игноришу [1]. Они се могу посматрати кроз различите приступе: функционалистички наглашава позитиван утицај конфликта на побољшање односа и решавање разлика, ситуативни приступ зависи од конкретних околности, док интеракционистички проучава изражавање и решавање конфликта од стране учесника [2]. Конфликти произилазе из разлика у потребама, интересима и циљевима појединаца или група и обухватају више страна, недостатак ресурса и покушаје једне стране да оствари корист на рачун друге [3,4]. Типологија конфликта обухвата интерперсоналне, интраперсоналне, групне и међугрупне конфликте, док се према Ратићу [5] могу груписати као персонални и организациони, когнитивни и афективни, функционални и дисфункционални. Структуру конфликта чине међузависност страна, број учесника, репрезентација других, ауторитет преговарача, хитност решавања и комуникацијски канали [6]. Фазе конфликта обухватају припрему, препознавање, конкретне поступке и последице [5]. Конструктивни конфликти подстичу креативност, иновације и тимску ефикасност, док деструктивни могу изазвати стрес, фрустрацију, смањење продуктивности и флукуацију особља [7,8]. Адекватно управљање конфликтима омогућава побољшање комуникације, развој вештина решавања проблема, преговарања и медијације, као и унапређење радног морала и организацијске продуктивности [9,10, 11].

3. ЕФЕКТИВНО УПРАВЉАЊЕ КОНФЛИКТИМА У ПОСЛОВНОМ ОКРУЖЕЊУ

Ефективно управљање конфликтима представља кључан елемент за постизање успеха компаније, јер начин на који се конфликти решавају директно утиче

на радну атмосферу, продуктивност и задовољство запослених [12]. Да би се обезбедило ефикасно решавање, организације користе различите технике и стратегије, попут избегавања, прилагођавања, директне конфронтације, компромиса, сарадње и формирања коалиција, при чему успешност зависи од разумевања ситуације и односа међу странама [12]. Стилски решавања конфликта, као што су интегративни, обазриви, доминантни, избегавајући и компромисни, одређују како појединци и тимови реагују на сукобе, а њихов избор у великој мери зависи од личних, демографских и културних фактора [13,14]. Приликом примене ових стилова, техника сарадње, која се заснива на „win-win“ решењу, омогућава да обе стране задовоље своје интересе, док компромис подразумева уступке како би се постигло брзо и прихватљиво решење [15]. Насупрот томе, избегавање или директна конфронтација могу бити краткорочно решење, али често не воде дугорочном задовољству и јачању поверења [16]. Зато се све више користе и технике посредовања и преговарања, које омогућавају укључивање неутралне треће стране или директну комуникацију са циљем постизања консензуса заснованог на заједничким интересима [17]. Асертивна комуникација и изградња међуљудског поверења додатно доприносе конструктивном решавању конфликта, јер омогућавају отворен дијалог и смањују ризик од ескалације [18,19].

На крају, стратегије као што су конфронтација, компромис, изглађивање, присиљавање и повлачење, као и медијација, саветовање и колаборативно решавање, пружају јасан оквир за избор најприкладнијег приступа у зависности од природе сукоба и потреба учесника, показујући да управљање конфликтима није само решавање проблема, већ и средство за јачање сарадње, поверења и постизање организационих циљева [20,21].

4. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Проблем - Иако се конфликти у компанији Beba & beba doo ретко јављају, постоји потреба за бољим разумевањем улоге лидера, комуникације и тимских стратегија у њиховом решавању. Стога, неопходно је испитати колико су постојеће стратегије ефикасне и које конкретне праксе највише доприносе стварању позитивне радне атмосфере.

Предмет - Испитивање начина на које запослени у компанији Beba & beba doo доживљавају и решавају конфликтне ситуације. Фокус је на улози лидера, комуникацији и тимским механизмима као факторима у управљању конфликтима.

Циљ – Утврдити које стратегије и приступи најефикасније доприносе решавању конфликта у компанији Beba & beba doo. Такође, рад има за циљ да укаже на могућности за унапређење лидерских вештина и комуникационих пракси у тиму.

Хипотезе - Х1: Конфликти међу запосленима у компанији Beba & beba doo су ретко распострањени.

Х1.1: Лидер/менаџер у компанији Beba & beba doo игра кључну улогу у решавању конфликта и стварању позитивне радне атмосфере.

Х1.2: Отворена и искрена комуникација, као и спремност на компромис, кључни су фактори у ефикасном решавању конфликта у компанији Beba & beba doo.

Х1.3: Тим билдинг активности, јасно дефинисане улоге и одговорности, као и редовна комуникација у тиму, доприносе смањењу конфликта и побољшању тимске сарадње у компанији Beba & beba doo.

Инструмент истраживања - Истраживање је засновано на упитнику који се састојао из три дела: демографски подаци, ставови и реакције запослених по Китићу, [21] и стратегије решавања конфликта по Varma & Gupte [22], при чему су питања затвореног типа и за други и трећи део коришћена је Ликерова скала од 1 до 5.

Поступак истраживања - Упитник је дистрибуиран запосленима у компанији Beba & beba doo, а прикупљени одговори су анонимно унети и обрађени преко платформе Google Forms ради лакше анализе.

Узорак истраживања - У истраживању је учествовало 45 запослених различитих позиција у продајној и логистичкој служби компаније Beba & beba doo.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У наставку рада анализирана је демографска структура запослених у компанији Beba & beba doo и њихов доживљај према радном окружењу, са посебним освртом на учесталост конфликтних ситуација.

Демографска структура запослених у компанији Beba & beba doo показује изразиту родну неравнотежу, јер жене чине 97,8% узорка, што је у складу са делатношћу фирме усмереном на продају одеће за бебе и децу. Већина запослених има преко 45 година (46,7%), док 86,7% има завршену средњу школу, што указује на практично оријентисан радни тим са дугогодишњим радним стажем, пошто 42,2% запослених ради у фирми више од десет година. Анкетни подаци показују да се већина запослених ретко или никада не сусреће са конфликтним ситуацијама (84,5%), што даље имплицира да је присутна позитивна радна атмосфера и ефективна интерна комуникација.

Анализа показује да запослени у компанији Beba & Beba doo имају висок степен спремности за компромис (4,64) и избегавање неважних расправа (4,27), што указује на конструктиван приступ конфликтима. Најниже оцене забележене су код усмерености на личне интересе (2,16) и победу у дискусији (1,73), што потврђује фокус на решавање конфликта уместо на личну корист. Укупна аритметичка средина за све тврдње је 3,36, што указује на умерено позитиван став запослених према решавању конфликта. Резултати указују на потребу даље подршке у развоју флексибилности и отворене комуникације.

С друге стране, студија је такође показала да запослени у компанији највише вреднују отворену и искрену комуникацију као стратегију решавања конфликта (4,78), као и разјашњавање неспоразума (4,67) и активно слушање (4,60), док је најнижа оцена дата ефикасности лидера/менаџера у решавању конфликта (3,87). Високе оцене су забележене и за превентивне мере као што су јасно дефинисање улога и редовна комуникација (4,51), док су релативно ниже за тим

билдинг и дефинисање очекивања (4,29). Укупна аритметичка средина износи 4,45, што показује позитивну перцепцију запослених, али указује на потребу јачања лидерских вештина и практичне интерперсоналне комуникације.

Генерално, целокупно истраживање показало је да конфликти међу запосленима у компанији Веба & Веба доо постоје, али су ретки, што показује умерена укупна оцена перцепције конфликта (3,36) уз високу оцену међуљудских односа (4,00). Лидер/менаџер има значајну, али делимичну улогу у решавању конфликта, с обзиром на оцене тврдње о кључној улози лидера (3,58, 4. ранг) и задовољство улогом менаџера у решавању конфликта (3,82, 7. ранг). Отворена и искрена комуникација (4,78, 1. ранг) и спремност на компромис (4,64, 1. ранг у ставовима) показују да су ови фактори најважнији за ефикасно решавање конфликта. Јасно дефинисање улога и редовна комуникација у тиму такође доприносе смањењу конфликта (обе по 4,51, 8. ранг), док тим билдинг активности имају нешто нижи утицај (4,29, 16. ранг), што указује на њихов умерени значај. Укупно, резултати показују да су комуникација и компромис кључни за одржавање позитивне радне атмосфере и ефикасно решавање конфликта.

6. ПРЕДЛОЗИ ЗА УНАПРЕЂЕЊА

За унапређење решавања конфликта у компанији препоручује се јачање улоге лидера као активног медијатора, који организује индивидуалне разговоре и заједничке састанке ради постизања компромиса, уз увођење месечних састанака са отвореним питањима ради превенције сукоба. Потребно је формализовати кораке за решавање конфликта, укључујући обавезан директан разговор у року од 24 часа и по потреби укључивање неутралне треће стране. Такође, тим билдинг треба усмерити на активности које развијају међусобно разумевање, као што су тимски изазови или escape room игре, а редовне радионице и интерактивни тренинзи о активно слушању омогућавају запосленима да ефикасније изражавају осећања и предлажу решења. На овај начин се подстиче конструктивна комуникација и ефикасно решавање конфликта унутар тима.

7. ЗАКЉУЧАК

Решавање конфликта на радном месту је кључно за одржавање позитивне радне атмосфере, продуктивности и смањење стреса, јер неуправљани конфликти могу довести до трајних подела и слабљења сарадње, што чини њихово ефикасно решавање неопходним. У овом раду анализирани су стилови решавања конфликта - интегративни, обазриви, доминантни, избегавајући и компромисни - при чему се интегративни показао најповољнијим, јер омогућава заједничко решавање проблема и јачање тимског духа. Практични део је фокусирао анализу ставова запослених у компанији Веба & Веба доо, показујући да конфликти нису честе појаве, али да постоје изазови у флексибилности и ефикасности комуникације, што наглашава значај отворене комуникације и активног

слушања. Усавршавање лидерских вештина и подстицање конструктивне сарадње показују се као кључни за унапређење тимског рада, а будуће анализе могу истражити утицај старосне доби и радног стажа на конфликтне ситуације.

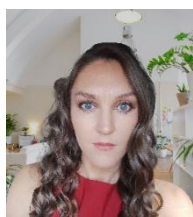
8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Павловић, М., Стојановић-Вишић, Б. & Рунић Ристић, М. „The relationship between workplace conflicts and job satisfaction in the public sector in Serbia“. *Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 27(1): 55-67, 2022.
- [2] Omisore, B. O., & Abiodun, A. R. (2014). Organizational conflicts: Causes, effects and remedies. *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, 3(6): 118-137.
- [3] Ђукић, С. (2018). Узроци друштвених конфликта и управљање конфликтима у условима кризе. *Војно дело*, 3(2018): 193-207.
- [4] Ратковић-Његован Б. (2015), Организациона социјализација. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
- [5] Ратић, М. (2024). Конфликти у организацији. *Зборник радова Факултета техничких наука у Новом Саду*, 39(1): 1-4.
- [6] Павловић, Н. (2016). Пословна култура и етика. Врњачка Бања: Универзитет у Крагујевцу, Факултет за хотелијерство и туризам у Врњачкој Бањи.
- [7] De Dreu, C. K. W., & Beersma, B. (2005). Conflict in organizations: Beyond effectiveness and performance. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 14(2), 105–117.
- [8] Juujärvi, S., Nummela, O., & Sinervo, T. (2023). Aspects of Ethical Conflicts and their Implications for Work-Related Well-Being: A Cross-Sectional Study among Health and Social Care Professionals. *Scandinavian Journal of Work and Organizational Psychology*, 8(1): 1, 1–15.
- [9] Isa, A. A. „Conflicts in organizations: Causes and consequences“. *Journal of Educational Policy and Entrepreneurial Research*, 2(11): 54-59, 2015.
- [10] Cuc, M. C. „Conflict management and problem-solving strategies“. *European Proceedings of Educational Sciences*, ERD 2022(1): 1-8, 2023.
- [11] Лазаревић, С. „Улога радних тимова у развоју организације која учи“. Докторска дисертација. Београд: Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, 2012.
- [12] Ђурчић, В. „Конфликти у комуникацији запослених“. *Зборник радова Факултета техничких наука у Новом Саду*, 37(10): 1-4, 2022.
- [13] Рунић Ристић, М., Љепава, Н., Qureshi, M., & Cazorla Milla, A. „A cross-cultural comparison of conflict management styles in multinational

organisations: Empirical evidence from Serbia“. *Journal of East European Management Studies*, 25(3), 418-447, 2020.

- [14] Стојановић Прелевић, И. „Пословна комуникација и етика“. Ниш: Универзитет у Нишу, Филозофски факултет, 2018.
- [15] Јокановић, Б., Томић, И. & Дуђак, Ј. „Organizational conflict resolution. XVII International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'17)“, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Novi Sad, Serbia, 1(2017): 446-451, 2017.
- [16] Scannell, M. „The big book of conflict resolution games: Quick, effective activities to improve communication, trust, and collaboration“. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.
- [17] Munduate, L., Medina, F. J., & Euwema, M. C. „Mediation: Understanding a constructive conflict management tool in the workplace“. *Journal of Work and Organizational Psychology*, 38(3), 165–173, 2022.
- [18] Mendes, B. „Role of communication styles in workplace conflict resolution in Brazil“. *American Journal of Communication*, 6(2): 22–31, 2024.
- [19] Omolekan, O. J., & Gunu, U. „Trust-building and consensus approach to conflict resolution: Alternative tactics to strike actions in Nigeria“. *Journal of Techno-Social*, 14(1): 37-47, 2022.
- [20] Војновић, В. „Менаџмент“. Београд: Институт за економику пољопривреде, 2014.
- [21] Китић, С. „Управљање конфликтима у организацији“. *Инжењерски менаџмент*, 6(2): 86-97, 2020.
- [22] Varma, V. S., & Gupta, R. „Conflict resolution strategies in the workplace: Empirical study of managing interpersonal and team conflicts“. *Ontologic*, 1(1): 35-42, 2023.)

Кратка биографија:



Тамара Барић, рођена 1989. године у Шибенику. Завршила је основне академске студије на Правном факултету Универзитета у Новом Саду.
Контакт: tsmara.baricc@gmail.com



Интегрисани приступ маркетингу догађаја: Анатомија успеха 2025

Integrated Approach in Event Marketing: "Anatomy of Success 2025"

Данијела Штрбац, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ИНЖЕЊЕРСКИ МЕНАџМЕНТ

Кратак садржај – Рад приказује интегрисани приступ маркетингу догађаја на примеру догађаја „Анатомија успеха 2025“. Кроз теоријски оквир објашњени су кључни појмови маркетинга догађаја, фазе организације и значај доследне комуникације и визуелног идентитета. У практичном делу приказан је целокупан процес планирања, од дефинисања циљне групе и структуре тима, разраде програма, буџета и временске линије, до израде промотивне стратегије засноване на пет комуникационих фаза. Резултати показују да интегрисани приступ омогућава јасније позиционирање догађаја, већи ангажман публике и примењив модел за будућу реализацију.

Кључне речи: Маркетинг догађаја, Анатомија успеха, интегрисане маркетиншке комуникације, визуелни идентитет, организација догађаја

Abstract – The paper presents an integrated approach to event marketing using the case of the event "Anatomija uspeha 2025." The theoretical framework explains the key concepts of event marketing, the fundamental phases of event organization, and the importance of consistent communication and visual identity. The practical part outlines the complete planning process: from defining the target group and team structure, through program development, budgeting, and timeline design, to the creation of a promotional strategy based on five communication phases. The findings indicate that an integrated approach enables clearer event positioning, higher audience engagement, and a model applicable to future event realizations.

Keywords: Marketing events, Anatomy of Success, integrated marketing communications, visual identity, event organization

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је била др Јелена Спајић, ванр. проф.

1. УВОД

Догађаји представљају једну од најстаријих форми друштвених окупљања, насталих још са првим цивилизацијама.

Савремено схватање догађаја повезује се са њиховом планираном, наменски осмишљеном природом, при

чему аутори попут Геца истичу да је догађај привремено, организовано дешавање које се одвија на јасно дефинисаном месту, у одређено време и са унапред постављеним циљевима [1].

Специфичност догађаја огледа се у њиховој јединствености, кратком трајању и снажном утиску који остављају на публику, због чега представљају изузетно вредан комуникациони и маркетиншки алат. Управо због непоновљивости сваке реализације, сложености планирања и високог нивоа неизвесности, догађаји захтевају систематичан приступ, прилагођавање бројним варијаблама и пажљиву координацију свих учесника.

Разумевање историјског развоја, класификације и кључних карактеристика догађаја представља основу за анализу процеса њихове организације. Посебну улогу имају фазе иницирања, планирања, имплементације, реализације и евалуације, које чине јединствен систем и одређују квалитет целокупног искуства учесника. Управо кроз овај теоријски оквир приступа се анализи и приказу организације студентског догађаја „Анатомија успеха 2025“, са циљем да се покаже како се теоријски принципи могу применити у пракси.

2. ТЕОРИЈСКИ И МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР

2.1. Појам и дефиниција маркетинг догађаја

Маркетинг је много шири од оглашавања: он обухвата истраживање тржишта, планирање, креирање, комуницирање и испоруку вредности корисницима, при чему повезује организацију са њеним купцима, партнерима и широм заједницом [2].

У оквиру маркетинга, догађаји се могу посматрати као специфичан облик производа, чији успех зависи од јасно дефинисаног концепта, разумевања потребе публике и пажљиво планираних активности промоције, цене и места реализације. За разлику од класичних производа, догађаји представљају комбинацију услуга и искустава, што их сврстава у област маркетинга услуга.

Повезивањем основних појмова маркетинг и догађај, може се закључити да маркетинг догађаја обухвата скуп планираних активности усмерених на креирање, комуницирање и испоруку понуде која публици пружа посебно искуство и гради трајан утисак [3].

Литература истиче да успешан догађај треба да пружи забаву, емоционални ангажман и професионално осмишљену реализацију, што је основ 3E модела

маркетинга догађаја: *Entertainment, Excitement, Enterprise*. Елементи маркетинг микса потврђују да је планирање догађаја стратешки процес који обухвата свих седам компоненти проширеног маркетинг микса. Оне укључују: производ (енг. *Product*), цену (енг. *Price*), место реализације (енг. *Place*), односе с јавношћу (енг. *Public Relations*), позиционирање догађаја (енг. *Positioning*), људе укључене у реализацију (енг. *People*) и физичке доказе (енг. *Physical Evidence*), који својим видљивим и невидљивим аспектима обликују целокупно искуство учесника. Примена ових елемената омогућава организатору да усклади понуду са потребама циљне публике, изгради препознатљив идентитет догађаја и оствари дефинисане организационе циљеве.

2.2. Организација догађаја

Организовање представља једну од централних функција менаџмента догађаја, којом се успоставља структура активности, расподела одговорности и координација ресурса неопходних за остваривање циљева планираног догађаја. Реч је о комплексном процесу који обухвата припрему, реализацију и завршну евалуацију, без обзира на врсту или обим манифестације. Менаџер догађаја координира тим, логистику и комуникационе токове, обезбеђујући да сви елементи доприносе квалитетној реализацији.

У савременој пракси, успешна организација догађаја заснива се на јасним одговорима на тзв. „5W“ питањима: зашто (енг. *Why?*) се догађај организује, ко (енг. *Who?*) је циљна група, када (енг. *When?*) је оптималан термин одржавања, где (енг. *Where?*) се догађај реализује и шта (енг. *What?*) чини његов садржај и идентитет. Овај оквир омогућава организаторима да обликују концепт који је усклађен са профилом публике, потребама тржишта и расположивим ресурсима [4]. Поред тога, организација догађаја може се сагледати кроз модел 5C - концепт (енг. *Concept*), координацију (енг. *Coordination*), контролу (енг. *Control*), кулминацију (енг. *Culmination*) и затварање (енг. *Closeout*), који пружа практичан преглед кључних корака у планирању и реализацији, од почетне идеје до завршне евалуације. Процес организације најчешће се приказује кроз пет основних фаза: иницирање, планирање, имплементацију, реализацију и завршну евалуацију. Иако су временски оквири сваке фазе прилагодљиви природи догађаја, њихов логичан следећи редослед обезбеђује бољу контролу активности и смањење оперативних ризика. Практична анализа догађаја „Анатомија успеха 2025“, послужиће као илустрација тога како се теоријски модели организације догађаја примењују у стварним условима и кроз конкретне фазе управљања.

3. ДОГАЂАЈ „АНАТОМИЈА УСПЕХА“

„Анатомија успеха“ представља студентску конференцију коју од 2015. године реализују мастер студенти модула Инжењерски маркетинг и мултимедији на Факултету техничких наука у Новом Саду. Као пажљиво осмишљени и јавно доступни едукативни догађај, конференција има за циљ размену знања, повезивање студената са представницима

академске и привредне заједнице и развој професионалних вештина кроз практичну примену теоријских знања из области маркетинга догађаја. Дугогодишња традиција и континуирана реализација чине је препознатљивим пословним догађајем мањег обима, који истовремено доприноси промоцији Факултета техничких наука.

3.1. Фаза иницирања

Иницијална фаза представља полазну тачку у процесу организовања догађаја и обухвата дефинисање сврхе, мисије и циљева, анализу изводљивости, одређивање концепта, циљне групе, времена и места одржавања, као и формирање организационог тима.

За Анатомију успеха 2025., осмишљена је хипотетичка конференција „ИИМteligencija“ као интерактивни едукативни догађај посвећен примени вештачке интелигенције (енг. *AI*) у образовању, професионалном развоју и свакодневном животу. Назив представља креативну комбинацију иницијала ИИМ (Департамента за Индустрijско инжењерство и менаџмент) и речи „интелигенција“. Концепт се заснива на комбинацији кратких радионица и практичних активности које омогућавају студентима да развију дигиталну писменост, критичко мишљење и способност одговорне употребе *AI* алата. У оквиру иницијалне фазе дефинишу се и сврха, мисија и циљеви, који усмеравају даљи ток планирања. Догађај је намењен широј академској и стручној заједници, са посебним фокусом на: студенте техничко-технолошких и информатичких наука, студенте друштвено-хуманистичких области релевантних за етичке, правне и комуникацијске аспекте *AI* технологија, младе стручњаке који започињу каријеру у индустрији, почетнике и припаднике шире заједнице заинтересоване за разумевање утицаја *AI* на савремено друштво.

Као најприкладнији простори издвојени су амфитеатар Факултета техничких наука и амфитеатар Ректората Универзитета у Новом Саду, будући да обезбеђују адекватну техничку опрему, капацитет и институционални оквир за реализацију догађаја. Коначан избор локације зависи од процењеног броја учесника и техничких захтева програма.

Догађај „ИИМteligencija“ планиран је за 28. новембар 2025. године, уз почетак припрема 1. октобра и завршне активности до 12. децембра 2025. Термински оквир усклађен је са академским календаром како би се обезбедила максимална доступност студената и правремена реализација програму прилагођених активности.

Организациони тим чине мастер студенти студијског програма Инжењерски менаџмент, модул Инжењерски маркетинг и мултимедији. У оквиру иницијалне фазе формирају се основне улоге и задужења, што обезбеђује јасну структуру и ефикасну координацију у наредним фазама планирања.

3.2. Фаза планирања

Фаза планирања представља наставак иницијалне етапе и обухвата операционализацију задатака, дефинисање ресурса, израду временског оквира и

обликовање структуре програма догађаја. У овој фази концепт добија практичну форму, док се организациони процес усмерава ка јасно дефинисаним активностима и контролним тачкама. Процена ресурса обухвата идентификацију финансијских и људских капацитета неопходних за реализацију догађаја. У складу са традицијом „Анатомије успеха“, конференција се планира кроз модел минималног буџета, уз ослањање на простор факултета, волонтерски ангажман студената и неновчану подршку спозора (освежења, промотивни материјал и сл.). Алтернативни, оптимални модел предвиђа додатне елементе попут скромног визуелног уређења и професионалне фото-документације, уколико се обезбеде додатни извори подршке.

Спонзорска подршка дефинише се кроз мрежу организација које својим ресурсима доприносе реализацији догађаја. У овом моделу доминира неновчано спонзорство, при чему технолошке компаније, образовне институције, стартапи и медијски партнери пружају материјалну подршку, награде и видљивост догађаја.

Организациони тим, који чине мастер студенти, у овој фази добија прецизно дефинисане улоге и задатке. Активности су распоређене на период пре, током и након догађаја, а иако су задаци формално дефинисани, успех реализације заснива се на тимском раду, координацији и флексибилности свих чланова.

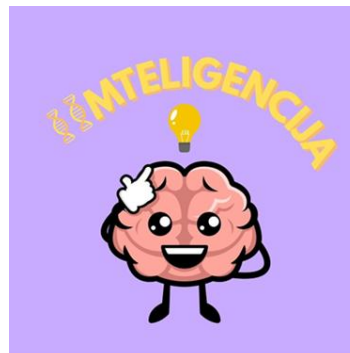
Стејкхолдери се сврставају у примарне (организатори, предавачи, студенти, спозори, посетиоци) и секундарне (наставници, медији, локална заједница). Њихова координација и комуникација утичу на квалитет и одрживост догађаја, те се у фази планирања дефинишу механизми сарадње и токови информација. Временска линија представља кључни инструмент контроле процеса. Активности су распоређене у три целине – пре догађаја, током догађаја и након догађаја, уз јасно дефинисане рокове и одговорне особе. Промотивне активности организују се кроз фазе: *teaser*, информативну, *reminder*, *live* и пост-евент фазу, чиме се обезбеђује доследан ритам комуникације са публиком. Гантограм приказан на слици 1 даје преглед динамике пројекта и користи се као алат за праћење извршења задатака.



Слика 1 Временска линија догађаја „IMteligencia“ приказана кроз гантограм по фазама

Визуелни идентитет у фази планирања добија своју финалну форму. Нови идентитет догађаја „IMteligencia“ заснива се на комбинацији раније развијене симболике „Анатомије успеха“ и модерних графичких елемената инспирисаних темом вештачке

интелигенције. Централни мотив представља стилизована маскота, приказ мозга са сијалицом као симболом идеје, уз задржан ДНК ланац, препознатљив елемент брэнда АУ. Колор палета и типографија усклађени су са савременим визуелним стандардима, а логотип (Слика 2) чини основу целокупне комуникације догађаја.



Слика 2 Логотип догађаја „IMteligencia“

3.3. Фаза имплементације

Фаза имплементације обухвата спровођење свих активности дефинисаних у претходним фазама, чиме план прелази у оперативно деловање. У овој етапи финализују се договори са партнерима, припрема техничка и логистичка инфраструктура, примењује визуелни идентитет и реализује комуникациони план. Имплементација подразумева сталну контролу задатака, праћење рокова и прилагођавање активности у реалном времену, како би сви елементи догађаја били доследно и ефикасно изведени.

3.4. Фаза реализације догађаја

Фаза реализације представља врхунац, у којој се програм догађаја спроводи према утврђеном распореду. Фокус је на координацији тимова, надзору активности на лицу места и управљању евентуалним непредвиђеним ситуацијама.

Паралелно са реализацијом, активирају се унапред припремљени резервни планови како би се обезбедио континуитет програма и одржао квалитет искуства учесника.

3.5. Завршна фаза

Завршна фаза представља кључни корак у процесу управљања догађајем јер омогућава систематску процену успешности, документовање резултата и очување односа са стејкхолдерима. У овој етапи спроводи се затварање догађаја, финализација административних обавеза, архивирање материјала и повратак простора у првобитно стање. Паралелно се реализује пост-евент комуникација која укључује захвалнице учесницима, партнерима и медијима, као и дистрибуцију релевантних информација и визуелних материјала.

Евалуација догађаја „IMteligencia“ заснива се на прикупљању повратних информација од студената и осталих стејкхолдера, са циљем да се утврди степен остварења циљева и квалитет програма. За потребе истраживања креиран је онлајн упитник (QR код), који

обухвата процену организације, релевантности садржаја, рада ментора, логистике и укупног корисничког искуства.

Прикупљени подаци анализирају се и представљају у виду интерног извештаја за организациони тим, док се кључни закључци у сажетој форми комуницирају јавно, најчешће путем друштвених мрежа. Евалуација служи као основа за унапређење будућих издања и представља важан инструмент учења и континуираног развоја серијала „Анатомија успеха“.

3.6. Интегрисани приступ маркетингу догађаја „ИМteligenција 2025“

Интегрисани приступ маркетингу догађаја подразумева усаглашено коришћење више комуникационих канала који заједно граде јединствену, доследну и препознатљиву поруку. У случају догађаја „ИМteligenција 2025“, основа стратегије заснива се на разумевању потреба студентске публике и прилагођавању садржаја њеним дигиталним навикама. Комбинација друштвених мрежа, званичних канала комуникације и офлајн промотивних материјала омогућила је широку видљивост и усмерено информисање.

Доследност визуелног идентитета, јединствен тон комуникације и синхронизовано временско пласирање порука чине кључне елементе интегрисаног приступа. Сви канали, *Instagram*, *TikTok*, *Facebook*, веб-сајт, имејл и офлајн материјали имају јасно дефинисану улогу у комуникационом процесу.

Промотивни процес је реализован кроз пет унапред дефинисаних комуникационих фаза.

Teaser фаза служи изградњи мистерије и иницијалног интересовања. Поруке су кратке, загонетне и не откривају главну тему догађаја. Циљ је привући пажњу публике и подстаћи је да активно прати наредне објаве. У информативној фази објављују се кључне информације о догађају – датум, место, тема и структура програма. Садржај је јаснији, информативан и усмерен на изградњу разумевања о значају конференције. Доминирају визуали који прате званични идентитет догађаја.

Reminder фаза заснива се на учесталијој комуникацији која има за циљ да подстакне пријаве и осигура висок ниво присуства. Поруке су динамичне, подсећајуће и често укључују интеракције попут анкета, питања или кратких видео-садржаја.

Live фаза подразумева комуникацију током самог догађаја. Она укључује објаве уживо, приказ радионица, учесника и атмосфере. Ова фаза гради ангажман, транспарентност и омогућава онима који нису присутни да прате програм у реалном времену.

Пост-евент фаза усмерена је на захвалнице, поделу фотографија, медијске сажетке и промоцију резултата догађаја. Посебно место заузима позив на евалуацију, као и објаве које истичу кључне утиске и постигнуте циљеве. На овај начин одржава се видљивост догађаја и гради темељ за будуће издање.

4. ЗАКЉУЧАК

Интегрисани приступ маркетингу догађаја представља кључни оквир за ефективно планирање, комуникацију

и реализацију савремених образовних манифестација. На примеру догађаја „ИМteligenција 2025“ показано је да синхронизована употреба више канала, јединствен визуелни идентитет и јасно дефинисана комуникациона стратегија доприносе већој видљивости, ангажовању публике и изградњи препознатљивог брэнда. Комбинацијом онлајн и офлајн тактика, уз конзистентност порука и континуирано праћење резултата, ствара се догађај који не само да информише, већ гради искуство и вредност за све стејкхолдере. У том контексту, интегрисани приступ се показује као неопходан услов за успешно управљање догађајима у академском и ширем друштвеном окружењу.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sušec Mikulin, G. (2022). Organizacija događaja i protokol. Završni rad, Poslovno veleučilište Zagreb.
- [2] American Marketing Association. Definitions of Marketing, <https://www.ama.org/the-definition-of-marketing-what-is-marketing/> (pristupljeno u oktobru 2025.)
- [3] Alaber, A. (2021). Marketing događaja na primjeru Adria Summer Festivala. Diplomski rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli.
- [4] Leonard H. Hoyle,(2002), Event Marketing, How to successfully promote events, conventions and expositions

Кратка биографија:



Данијела Штрбац рођена је у Новом Саду 2001. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Инжењерски менаџмент – Инжењерски маркетинг и мултимедији, одбранила је 2025.год.

Контакт:

danielastrbac12@gmail.com



Специфичности управљања пројектима у савременом глобалном окружењу

Specific features of project management in the contemporary global environment

Жељана Ребић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – Инжењерски менаџмент

Кратак садржај – Промене у пословном окружењу могу бити подстакнуте различитим факторима, а један од њих, у данашње време, може бити и глобализација. Глобални пројекти носе са собом одређене изазове, али и користи, које је неопходно препознати и искористити, уз прилагођено управљање овом врстом пројеката.

Кључне речи: управљање пројектима, глобализација, глобални пројекти, међународни тимови, заинтересоване стране, успех глобалних пројеката

Abstract – Changes in the business environment may be driven by various factors, and one of them, in today's context, is globalization. Global projects entail certain challenges as well as benefits that must be identified and effectively leveraged through appropriately adapted management practices.

Keywords: project management, globalization, global projects, international teams, stakeholders, success of global projects

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Данијела Ђирић Лалић, доц.

1. УВОД

професија већ дуги низ година. Велике корпорације, из различитих индустрија, су укључене у реализацију пројеката са страним културама и на различитим локацијама, ти пројекти подразумевају рад са међународним партнерима, купцима и добављачима. Међутим, тек се у последњих неколико година о управљању пројектима заиста говори као о „глобалној“ професији. Постављају се и питања везана за највеће изазове, могућности и користи глобалних пројеката, о којима ће бити више речено касније. Ове промене и глобална економија су довеле до потребе стварања измена у стандардима и начинима управљања пројектима. Све више организација широм света прихвата савремено управљање пројектима и укључују се у међународне пројекте, а неке од њих мењају и своју структуру, јер временом све више послова обављају кроз пројекте [1].

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

У оквиру овог поглавља ће бити истражени и описани глобални пројекти и њихови највећи изазови, заједно са предлозима за управљање тим изазовима. Такође ће бити дат и предлог глобалног оквира за управљања пројектима. Поред тога говориће се и о користима које глобални пројекти доносе, као и о идентификовању и ангажовању заинтересованх страна на таквим пројектима. На крају ће бити речи о кључним факторима успешног управљања глобалним пројектима.

2.1. Глобални пројекти

Као подскуп виртуелних пројеката под утицајем глобализације се појављују и глобални пројекти у којима се укрштају елементи и изазови међународних и виртуелних пројеката. Ови пројекти укључују људе из различитих организација који раде у различитим земљама широм света [2]. Осим различитих организација и земаља, што је прво уочено, глобални пројекти подразумевају и рад са различитим културама, члановима тима у различитим временским зонама и различите језике које чланови тима говоре.

2.2. Изазови глобалних пројеката

Као и друге врсте пројеката, глобални пројекти се суочавају са изазовом окупљања разнолике групе појединаца из различитих функционалних области, који треба да раде заједно током ограниченог временског периода како би оставрили специфичан циљ пројекта (Adenfelt M., Lagerstro K., 2005).

Глобализација је пројектним менаџерима донела нове изазове у планирању и имплементацији пројеката, који могу негативно да утичу на исходе пројекта или ресурсе организације. Ови изазови се могу поделити у шест основних категорија [3]:

- 1) Политички/ друштвени
- 2) Економски
- 3) Природни
- 4) Инфраструктура и логистика
- 5) Културни
- 6) Правни

одређеним деловима света, као што су ратови и немири, могу негативно да утичу на пројекте. На индивидуалном нивоу, људи у неким земљама нису пријатељски настројени према странцима, посебно онима који уводе промене у њихово окружење [3].

У последњих неколико година, глобална економија се веома брзо и често мења. Неки од ових фактора се односе на: инфлацију, промене у релативним ценама, курсеве и каматне стопе, као и структуре пореза и трговинска ограничења. Поред тога, менаџери глобалних пројеката се суочавају и са ефектима промене и нестабилне економије у одређеним деловима света, који такође могу негативно да утичу на њихове пројекте [3].

Природни изазови и ризици се односе на факторе који су ван људског утицаја. Многи глобални пројекти, чак иако су детаљно и пажљиво испланирани, могу бити угрожени природним катастрофама, као што су урагани, цунами, суше, поплаве, земљотреси, болести итд. На све ове ризике утичу и различити нивои развоја земаља широм света, од којих зависи колико ће брзо и на који начин одређене земље успети да реагују на ове проблеме [3].

Технологија је неопходна за комуникацију на виртуелним пројектима, али је потребно изабрати канале комуникације који су доступни свакој интересној групи на пројекту. Ове разлике у степену развоја технологије могу такође да изазову и логистичке проблеме на пројекту, на пример проблеме везане за транспорт, куповину, смештај и слично [3].

Можда и најочигледнији изазов у глобалним пројектима представљају културне разлике. Разлике у култури могу донети многе користи пројектима, међутим оне носе са собом и изазове. Потребно је посветити посебну пажњу упознавању са различитим културама које се могу наћи на пројекту како не би дошло до неспоразума и како не би несвесно увредили неку заинтересовану страну [3].

Последњу групу изазова чине правни изазови, јер свака земља има своје пословне законе који се међусобно разликују и могу представљати ограничења за пројекат. Значајни пословни закони који утичу на глобалне пројекте су следећи: права интелектуалне својине, питања уговора, прописи о маркетингу и оглашавању, стандарди заштите животне средине, као и праксе запошљавања на локалном нивоу [3].

На основу свега до сада наведеног и анализе свих наведених група фактора се може закључити да би анализа екстерног окружења, кроз на пример PESTEL анализу, била добра пракса за глобалне пројекте. PESTEL анализа би обухватила све групе фактора и могла би да помогне пројектном тиму да лакше уочи потенцијалне ризике глобалних пројекта, који могу бити изазвани факторима окружења.

2.3. Глобални оквир управљања пројектима

Извршена су многа истраживања и написане књиге о управљању глобалним пројектима које се односе на специфичне праксе које могу бити од користи тимовима који сарађују на даљину и могу помоћи приликом управљања виртуелним и мултикултуралним тимовима. Све ове праксе се могу груписати у Глобални оквир управљања пројектима

[2]. Глобални оквир је представљен у облику лопте или глобуса што асоцира на глобалне пројекте. Унутар њега се налази 25 поља која представљају различите области знања. Поља су по редовима подељена у 5 категорија, а то су: глобални тимови, глобална комуникација, глобалне организације, колаборативни алати и колаборативне технике.

2.4. Глобални тимови

Менаџери глобалних пројеката морају да имају развијене добре стратегије за координацију мултикултуралних и виртуелних тимова. При томе морају да узму у обзир разлике у култури, језичким вештинама и временским зонама. Применом ових знања се могу развити поуздани односи са интересних групама, а значајан алат може бити и менторство. Обзиром да су конфликтне ситуације неизбежне, треба подржавати конструктивне конфликте и подстицати иновације у тиму. Категорија глобалних тимова обухвата различите области знања које су кључне за успешно управљање овим тимовима и оне укључују: међукултуралну сарадњу, вођење глобалног тима, грађење поверења, решавање конфликта и менторство [2].

Пројектни менаџери посвете велики део пројекта комуникацији. Неопходно је укључити све чланове тима приликом планирања пројекта како би се успешно идентификовале све заинтересоване стране и одабрали и разумели одговарајући канали комуникације на пројекту. Глобална комуникација представља једну од пет категорија у Глобалном оквиру за управљање пројектима и она такође садржи пет области знања, а то су: заинтересоване стране и канали комуникације, правила и шаблони, глобална комуникациона стратегија, глобалне комуникационе технике и глобална креативност [2].

2.5. Глобалне организације

Уколико организације спроводе глобалне пројекте или програме, неопходно је да воде рачуна о утицају тих пројеката и програма на њихове организационе културе и структуре. Такође је потребно омогућити адекватну комуникацију међу члановима тима. Према Оквиру за управљање пројектима, глобалне организације укључују пет категорија знања, а то су: структура глобалних пројеката, избор међународних људских ресурса, глобалне канцеларије за управљање пројектима, подршка организације и глобалне колаборативне мреже [2].

2.6. Колаборативни алати и технике

Последње две категорије оквира се баве различитим технолошким областима које организације могу да примењују како би подстакле сарадњу на глобалним пројектима. За почетак је неопходно анализирати захтеве пројекта и проценити какве технологије би могле да буду коришћене код сваког специфичног пројекта. Такође је потребно истражити различита решења да би се задовољиле потребе, а након тога одабрати и имплементирати ону технологију која највише одговара захтевима. На крају је неопходно пружити основну обуку о изабраним технологијама. Аллати за заједничку сарадњу обухватају пет категорија

знања, а то су: основни алати, аудио и видео алати, текстаулни и сликовни алати, алати дељења знања и софтвери за управљање пројектима. Технике за заједничку сарадњу такође укључују пет области потребни знања, а оне су: основне технике, аудио и видео технике, online састанци, технике дељења знања, као и колаборативно управљање пројектима [2].

Поред свих изазова, о којима је раније било речи, глобални пројекти доносе и бројне користи, које подразумева рад у међународним и виртуелним тимовима.

2.7. Користи глобалних пројеката

Прва корист глобалних пројеката се односи на приступ широком скупу талената. Ангажовањем чланова тима широм света и сарадника из различитих организација, пројектни тим може да искористи вредна знања и вештине, које можда нису лако доступна и подстичу креативност у решавању проблема [4]. Прихватање различитих идеја и стилова, такође доводи до повећане креативности, а поред тога подстиче и инклузивност и разноликост мишљења унутар тима. Културна размена обогаћује укупну слику глобалног окружења корисника и доприноси проналажењу бољих решења за пројекат [4].

Осим различитих култура и различити језици могу да донесу предности код глобалних пројеката. остварује се могућност комуникације са заинтересованим странама на њиховом матерњем језику на тај начин се захтеви интересних група могу лакше разумети. Са друге стране, одређене интересне групе можда неће бити заинтересоване за пројекат уколико не могу да комуницирају на свом језику и тај проблем се превазилази тиме што постоје чланови тима који говоре њихов језик [5].

Глобални пројекти пружају могућност рада на одређеним активностима 24 часа свих 7 дана у недељи, због рада у различитим временским зонама. На овај начин се обезбеђује непрекидан рад и скраћује се време потребно за реализацију пројектних активности [4]. Повезано са том темом, продуктивност се такође може повећати код глобалних тимова. Због тога што тимови раде у временским зонама које се можда не преклапају и уколико организују свој рад на поменути начин, могу брже да обаве дневне задатке. Резултат таквог рада су испуњени пројектни циљеви у планираном времену [5]. Кроз коришћење „cloud“ система за сарадњу, виртуелних инструмената за комуникацију и софтвера за управљање пројектима обезбеђује се правилно и прецизно дељење информација. Ово такође омогућава ажурирање информација у реалном времену, као и дистрибуцију и доделу ресурса на пројекту.

Познавање локалног тржишта је такође једна од користи глобалних пројеката. Сваки члан тима треба добро да познаје своје локално тржиште и да проучи локалну конкуренцију, законе, прописе и слично, који могу да утичу на ток пројекта [5].

На основу свега наведеног и претходно анализираних изазова које глобални пројекти носе са собом, може се закључити да постоји више предности глобалних пројеката и да њих треба искористити како би се увеле промене у организацијама и како би се постигли очекивани резултати пројекта.

2.8. Заинтересоване стране у глобалним пројектима

Управљање заинтересованим странама обухвата процесе потребне за идентификацију људи, група или организација које могу да утичу на пројекат или да буду погођене њиме, затим анализирање очекивања заинтересованих страна и њиховог утицаја на пројекат, као и процесе развоја одговарајућих стратегија управљања, ради ефикасног ангажовања интересних група у одлукама и извршењу пројекта [6].

Lango B. је 2019. године навео да су заинтересоване стране особе и организације попут купаца, спонзора, извођача радова и јавности, који су активно укључени у пројекат или чији интереси могу бити позитивно или негативно погођени извршењем или завршетком пројекта. Такође је навео да глобалне заинтересоване стране могу чинити следеће групе, али пројекти нису ограничени само на њих: владе, извођачи и подизвођачи, спољни купци, добављачи, као и пројектни тим. Према његовој подели, пројектни тим може да укључује и топ менаџмент организације, чланове самог тима, регионалне менаџере, менаџере ресурса и интерне купце.

Кључни фактори успеха пројеката су оних неколико аспеката који морају функционисати добро како би се осигурао успех за менаџера или организацију, зато представљају менаџерске или послове области којима се мора посветити посебна и континуирана пажња како би се постигле високе перформансе у активностима пројекта током имплементације, али и у испорученим резултатима [7]. Фактори успеха, дефинисани специфично за глобалне пројекте се могу поделити у четири јасно различите димензије: организација, пројекат, људи и национални фактори [8].

Први на листи су организациони фактори, један он најкритичнијих фактора организације за успешан завршетак пројекта је добар и снажан систем комуникације, која је такође важна и за праћење и контролу. Подршка топ менаџмента је такође важна за успешне исходе пројекта. Организациона структура која је флексибилна и спремна за прилагођавања и промене има више шанси за успех [8].

Следећа група фактора се односи на сам пројекат и они су такође веома важни. Једноставније је управљати пројектима са мањим обимом, крајим трајањем и једноставног карактера, у поређењу са великим, комплексним и дуготрајним пројектом. Уколико пројекат нема јасно дефинисане циљеве, шансе за успех су мање. Како би се планови пројекта успешно претворили у конкретне активности важно је имати реалан распоред [8].

Људи су један од најважнијих делова успешности пројеката, јер су коначно они одговорни за испоруку резултата пројекта. Кључне су способности, знање и вештине пројектног менаџера и целог пројектног тима. Важно је разумети и жеље кључних заинтересованих страна јер се успех такође мери и њиховим задовољством и испуњењем њихових потреба [8].

На крају, постоји и низ спољних фактора окружења, који се могу сврстати у националне факторе, како би се разјаснио њихов утицај на глобалне пројекте. У ову групу фактора се убрајају политички и правни

фактори, фактори околине, технички фактори, социјално-културни фактори, економски фактори и слично (Khan R.A., Spang K., 2011).

3. ЗАКЉУЧАК

У данашњем динамичном пословном окружењу, пројекти отварају могућности организацијама да реагују на новонастале промене и прилагођавају своје пословање променљивим захтевима тржишта и клијената. Глобализација се односи на ширење веза у разним областима, па је тако променила и пословно окружење и утицала је на промену приступа у управљању пројектима.

Циљ овог рада је био приказивање промена које су настале у управљању пројектима под утицајем глобализације и описивање начина рада глобалних тимова. Појава глобалних пројеката је довела до све чешће сарадње глобалних организација и заједничког рада чланова тима на различитим локацијама и у различитим временским зонама. Ово подразумева и рад међу различитим културама и рад чланова тима са различитим матерњим језицима. Кроз даљи рад, примере и студије случаја је утврђено да ових пет димензија садрже сви глобални пројекти.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. L. Pells, "Building a global project management profession," Project Management Institute, 1997. [Online]. Available: <https://www.pmi.org/learning/library/building-global-pm-profession-5139>
- [2] J. Binder, "The global project management framework: communication, collaboration, and management across borders," Project Management Institute, 2009. [Online]. Available: <https://www.pmi.org/learning/library/global-project-management-framework-6863>
- [3] B. Lango, *Global Project Management – Compiled Lecture Notes*, 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/334724462>
- [4] S. Roberts, "Global Project Management: A Brief Overview," The Knowledge Academy, 2024. [Online]. Available: <https://www.theknowledgeacademy.com/blog/global-project-management/>
- [5] "9 advantages of building a global team," 2022. [Online]. Available: <https://combinegr.com/9-advantages-of-building-a-global-team/>
- [6] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, 6th ed., Project Management Institute, 2017.
- [7] H. Taherdoost and A. Keshavarzsaleh, "Critical factors that lead to projects' success/failure in global marketplace," *Procedia Computer Science*, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316001523>

- [8] R. A. Khan and K. Spang, "Critical success factors for international projects," 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/220798045>

Кратка биографија:



Жељана Ребић рођена је у Београду 2000. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Инжењерски меанцимент – Пројектни менаџмент одбранила је 2025. године.

Контакт: zeljana.rebic@gmail.com

Релокација Рафинерије нафте Нови Сад

Relocation of the Oil Refinery in Novi Sad

Јована Деспић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ИНДУСТРИЈСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Кратак садржај – Основни циљ овог рада је истраживање могућности релокације постојеће рафинерије нафте у Новом Саду, која већ дужи низ година није у функцији. Кроз рад се разматрају критеријуми за избор нове локације, са циљем идентификације просторно, инфраструктурно и еколошки најповољнијег решења за њено измештање.

Кључне речи: Локација, релокација, критеријуми локације, екологија

Abstract – *The primary objective of this paper is to investigate the possibilities for the relocation of the existing oil refinery in Novi Sad, which has not been in operation for many years. The paper examines the criteria for selecting a new location, with the aim of identifying the most favorable spatial, infrastructural, and environmental solution for its relocation.*

Keywords: Location, relocation, location criteria, ecology

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

1. УВОД

У савременом урбаном и индустријском развоју, локација индустријских постројења има значајну улогу у економском, просторном и еколошком функционисању градова. Међутим, услед процеса урбанизације, технолошких промена и пооштравања еколошких захтева, поједина индустријска постројења постају неадекватна на својим постојећим локацијама. Један од таквих примера представља рафинерија нафте у Новом Саду, чија се тренутна локација у савременом контексту сагледава као неусклађена са актуелним просторним и еколошким критеријумима, што отвара питање потребе за њеном релокацијом.

2. КОНЦЕПТУАЛНИ ОКВИР РЕЛОКАЦИЈЕ ИНДУСТРИЈСКИХ ПОСТРОЈЕЊА

Релокација индустријских постројења представља сложено просторно-планско и инфраструктурно питање које се јавља као последица промена у урбаном развоју, технолошком напретку и све

строжих еколошких стандарда [1]. У савременим градовима, индустријски објекти који су некада били лоцирани на периферији, услед ширења урбаног ткива, све чешће се налазе унутар или у непосредној близини стамбених и пословних зона, што може довести до конфликта различитих намена простора [2].

У том контексту, у литератури се релокација индустрије посматра као стратешки алат просторног планирања, којим се настоји унапредити безбедност, смањити негативни утицаји на животну средину и омогућити ефикасније функционисање индустријских система [3]. Посебно у случају индустрија високог ризика, као што су рафинерије нафте, питање локације добија додатни значај услед потенцијалних еколошких и безбедносних последица њиховог рада.

Процес релокације подразумева дефинисање и евалуацију низа критеријума који утичу на избор нове локације. Најчешће се издвајају просторни критеријуми, који обухватају удаљеност од урбаних зона, компатибилност са планском документацијом и доступност простора за даљи развој; инфраструктурни критеријуми, који се односе на саобраћајну повезаност и доступност енергетских и комуналних система; као и еколошки критеријуми, који укључују утицај на земљиште, водене ресурсе, квалитет ваздуха и заштићена подручја [4].

Савремени приступи избору локације све чешће се ослањају на вишекритеријумске методе одлучивања, које омогућавају сагледавање различитих, често супротстављених фактора. У процесу релокације индустријских постројења најпре се врши избор шире локације, односно региона или дела града, а затим се дефинише прецизна локација или парцела, чиме се омогућава доношење рационалних и транспарентних одлука у сложеним просторним и еколошким условима [4].

3. МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА

Методолошки оквир истраживања заснива се на примени вишекритеријумског приступа у циљу идентификације најпогодније локације за релокацију постојеће рафинерије нафте у Новом Саду. Постојећа рафинерија, лоцирана на Путу Шајкашког одреда 4 (парцела 2555/14, површина 537.415 m²), изграђена је средином 20. века за прераду сирове нафте и некада је представљала један од кључних индустријских објеката у Војводини. Функција рафинерије је

постепено смањена; од 1999. године класична прерада сирове нафте је смањена, док је примарна прерада пребачена у Рафинерију Панчево. Између 2010. и 2012. године прерада у Новом Саду је потпуно обустављена [5].

Тренутни комплекс се користи углавном за складиштење, дистрибуцију и производњу базних уља и мазива, док велика парцела од 537.415 m² није у потпуности искоришћена.

Неактивност рафинерије последица је више фактора: урбанизације локације, која ограничава ширење и модернизацију; застареле опреме и технологије, која не задовољава савремене ЕУ еколошке стандарде и повећава ризик од незгода; еколошких ризика, укључујући емисију гасова и отпадних вода; као и логистичких проблема, услед транспорта сирове нафте и деривата кроз насељена подручја [6]. Ови фактори чине релокацију рафинерије оправданом са аспекта сигурности, еколошке одрживости и просторног планирања.

3.1 Избор шире локације за релокацију рафинерије

У овом делу анализа је спроведена за 15 градова у оквиру Аутономне Покрајине Војводине: Нови Сад, Суботица, Зрењанин, Панчево, Сомбор, Кикинда, Сремска Митровица, Инђија, Стара Пазова, Рума, Бачка Паланка, Бачки Петровац, Врбас, Нови Бечеј и Сента.

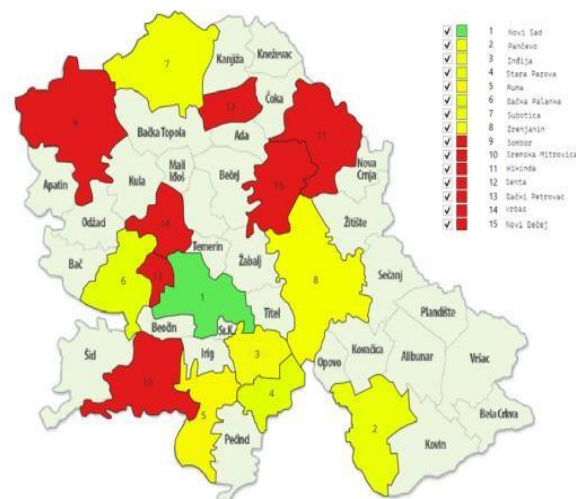
Градови су одабрани на основу инфраструктурне повезаности и потенцијала да прихвате комплексно индустријско постројење.

За избор шире локације дефинисана су четири основна критеријума:

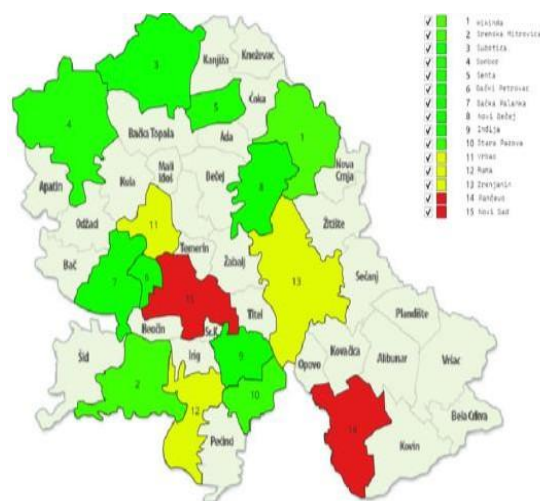
- доступност радне снаге,
- економски фактори,
- логистичко-инфраструктурни фактори и
- индустријски/просторни критеријуми.

За сваки критеријум прикупљени су релевантни подаци, укључујући број радно способног становништва, стручну структуру, број незапослених, просечне зараде, просечну цену земљишта, значај путне инфраструктуре, удаљеност од речних лука, као и опремљеност и површину индустријских зона. На основу ових показатеља формирана је база података и припремљена табела са вредностима за сваки град.

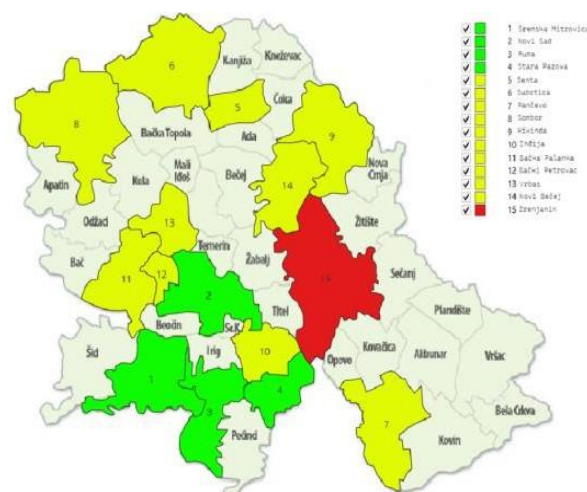
Анализа је спроведена коришћењем fuzzy експерт система у програмском окружењу MATLAB. Подаци о градовима и критеријумима унети су у систем, дефинисана су fuzzy правила и додељени подаци претходно стандардизовани од 0–10, чиме је квантификована погодност сваке шире локације за релокацију рафинерије. Резултати су приказани путем карата погодности у QGIS софтверу, користећи колор-скеале у којој црвена означава неповољно, жута средње повољно, а зелена повољно, што омогућава прегледну и јасну визуелизацију просторне расподеле погодности градова. Резултати по критеријумима су приказани на сликама од 1- 4.



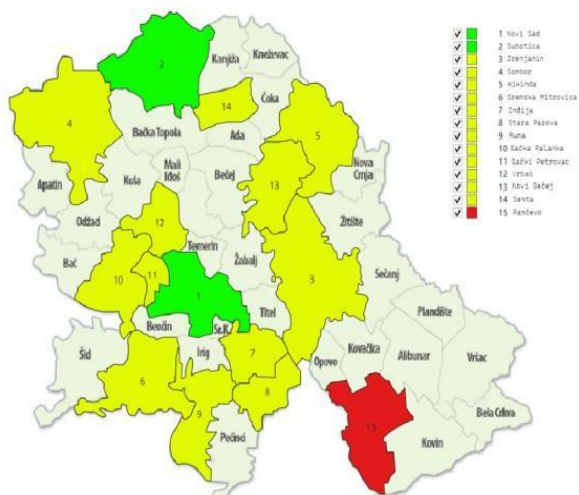
Слика 1. Резултат за критеријум доступност квалитетне радне снаге



Слика 2. Резултат за економски критеријум



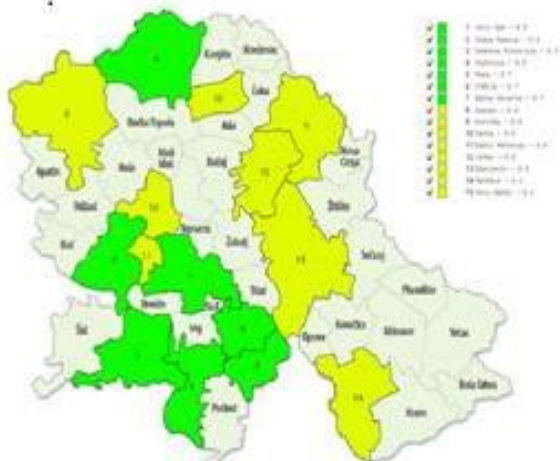
Слика 3. Резултат за логистичко/инфраструктурни критеријум



Слика 4. Резултат за индустријско/просторни критеријум

У завршној фази спроведена је вишекритеријумска анализа, при чему су критеријумима додељене тежине у складу са њиховим релативним значајем за релокацију рафинерије. Највећу тежину добили су индустријски и просторни критеријуми, док је критеријум доступности радне снаге имао најмањи релативни утицај. Конзистентност додељених тежина потврђена је индексом конзистентности $CR = 0,04$, што указује да су матрице поређења методолошки прихватљиве.

Резултати коначног рангирања представљени су картографски у QGIS софтверу (Слика 5).



Слика 5. Резултат коначног рангирања

На основу добијених тежина и оцена градова, применом методе линеарног додељивања утврђено је да је Нови Сад рангиран као најпогоднија шира локација за релокацију рафинерије, захваљујући погодној комбинацији индустријских и просторних услова, развијеној инфраструктури и логистичкој повезаности у односу на остале анализирани градове.

3.2 Избор уже локације за релокацију рафинерије

Након избора Новог Сада као најпогодније шире локације за релокацију рафинерије, даља анализа усмерена је на идентификацију одговарајуће уже локације унутар територије града. Полазни просторни оквир за ову фазу истраживања представља Радна

зона Север 4, која је, према важећој планској документацији и доступној стручној литератури, предвиђена за смештај индустријских постројења и инфраструктурно је прилагођена захтевима тешке индустрије [7].

У оквиру Радне зоне Север 4 примењени су следећи критеријуми за идентификацију потенцијалних парцела за релокацију рафинерије:

- развијена саобраћајна и комунална инфраструктура,
- адекватна површина земљишта за смештај комплексног индустријског постројења,
- јасна и уређена власничка структура,
- повољни урбанистички и плански услови и
- непостојање ограничења у погледу власништва, хипотека и намене земљишта.

Примена наведених критеријума омогућила је издвајање четири потенцијална предлога унутар Радне зоне Север 4 која испуњавају услове за разматрање као уже локација за релокацију рафинерије.

Основне карактеристике идентификованих парцела приказане су у Табели 1.

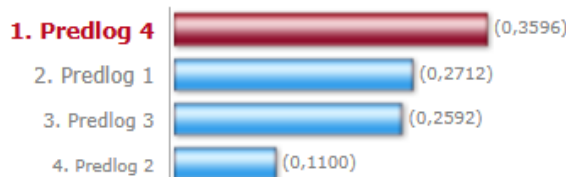
Табела 1. Основне карактеристике предлога за избор уже локације

Предлог	Парцела бр.	Површина m^2	Власништво	Инфраструктура	Имовинско/правно ограничење
1	233/1 243/5 215/4	614.388	Анђелковић Ал и ПВЦ ДОО Београд	Аутопут E75/A1	без
2	4600 4599/2 4599/3 4599/4	292.811	Александар Марковић VMF i Investment ДОО Београд Мандић Саша Investment ДОО Београд	Аутопут E75/A1	без
3	424/1 424/2	552.266	Слога а.д. Каћ	Аутопут E75/A1	без
4	6416 6407	636.585	МК Group ДОО Београд	Аутопут E75/A1	без

За потребе АХП анализе дефинисани су следећи критеријуми за избор оптималне уже локације:

- величина парцеле,
- власничка структура,
- просторна јединственост парцеле,
- намена и плански услови земљишта.

Анализа је спроведена применом АХП методе у програмском окружењу АХП-123. У оквиру модела најпре су критеријумима додељене одговарајуће тежине, у складу са њиховим релативним значајем за релокацију рафинерије. Након тога извршено је упоредно поређење алтернативних парцела у односу на сваки од дефинисаних критеријума.



Слика 6. Резултат након спроведене АХП методе

На основу резултата АХП анализе, Предлог 4 је рангиран као најпогоднија ужа локација за релокацију рафинерије, остваривши највишу укупну оцену у односу на остале анализиране алтернативе.



Слика 7. Позиција предлога у односу на индустријску зону и аутопут

4. ЗАКЉУЧАК

Истраживање могућности релокације постојеће рафинерије нафте у Новом Саду указује на значајан потенцијал примене вишекритеријумских метода одлучивања у процесу просторног и индустријског планирања. Комбинованом применом fuzzy експерт система и АХП методе омогућено је објективно вредновање просторних, инфраструктурних и планских критеријума, чиме је обезбеђен транспарентан и систематичан приступ избору погодне локације.

Резултати анализе показали су да је Нови Сад најпогоднија шира локација за релокацију рафинерије, док је на нивоу уже локације као погодно решење идентификован предлог у оквиру Радне зоне Север 4.

Предложена локација обухвата спајање две парцеле укупне површине 636.585 m², што представља већи и функционално погоднији простор у односу на постојећу локацију рафинерије, чија површина износи приближно 537.415 m².

Нова локација је просторно издвојена и налази се на већој удаљености од стамбених зона у поређењу са постојећом рафинеријом, чиме се смањују потенцијални негативни утицаји на урбано окружење. Истовремено, непосредна близина индустријске зоне и добра саобраћајна повезаност, укључујући приступ аутопуту Е75, омогућавају ефикасну логистику и једноставно инфраструктурно повезивање. Релокацијом рафинерије отвара се и могућност ослобађања значајне површине на постојећој локацији, што представља важан потенцијал за будући просторни развој града.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] „Industrial deconcentration“, Wikipedia, доступно на: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_deconcentration (приступљено 20.01.2026.)

[2] H. Shu and P.-P. Xiong, “Reallocation planning of urban industrial land for structure optimization and emission reduction: A practical analysis of urban agglomeration in China’s Yangtze River Delta,” *Land Use Policy*, vol. 81, pp. 604–623, 2019.

[3] P. Hall and M. Castells, *Technopoles of the World: The Making of 21st-Century Industrial Complexes*, London: Routledge, 1994.

[4] I. Ćosić and A. Rikalović, *Lokacija proizvodnih sistema*, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

[5] „Нафтна индустрија Србије“, Wikipedia, доступно на: https://sh.wikipedia.org/wiki/Naftna_industrija_Srbije (приступљено 20.01.2026.)

[6] Energy Community Secretariat, *Security of Supply Statement – Republic of Serbia*, 2021. Доступно на: https://www.energy-community.org/dam/jcr:9fe1f172-6afe-461c-b966-17fafbbb04ac/SoSS_RS_122021.pdf (приступљено 20.01.2026.)

[7] „Industrijske zone 2012–2023“, УГЗИНС, доступно на: <https://www.ugzins.rs/sites/default/files/2024-01/4.2.%20Industrijske%20zone%202012-2023.pdf> (приступљено 20.01.2026.)

Кратка биографија:



Јована Деспић рођена је у Лозници 2001. године. Основне академске студије на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер Индустријско инжењерство, завршила је 2024. године.

Контакт:
jovanasdespic10@gmail.com