



## ИНТЕГРАЦИЈА МАТЕРИЈАЛНИХ ПАСОША У ВІМ ЗА ПРОЦЕНУ ЦИРКУЛАРНОСТИ ГРАЂЕВИНСКИХ ОБЈЕКТА

### INTEGRATING MATERIAL PASSPORTS INTO BIM FOR BUILDING CIRCULARITY ASSESSMENT

Милан Јовин, Факултет техничких наука, Нови Сад

#### Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО

**Кратак садржај** – Овај рад има за циљ да развије применљиву методологију за интегрисање принципа циркуларне економије у грађевинску индустрију кроз употребу Building Information Modeling технологије и концепта Material Passport. Истраживање систематски доприноси интегрисању ВІМ-а и Material Passports-а у подршку принципима циркуларне економије у грађевинарству. Теоријски допринос обухвата унапређење разумевања интеграције ВІМ-а и Material Passports-а систематским истраживањем и предлагањем детаљног мапирања између захтева података за Material Passports и Industry Foundation Classes 4.x, чиме се доприноси теоријском оквиру за беспрекоран ток дигиталних информација који подржава принципе циркуларне економије у грађевинарству.

**Кључне речи (три до пет):** ВІМ; Материјални пасош; Циркуларна економија; IFC; EN 15804

**Abstract** – This paper aims to develop an applicable methodology for integrating circular economy principles into the construction industry through the use of Building Information Modeling technology and the Material Passport concept. The research systematically contributes to the integration of BIM and Material Passports in supporting circular economy principles in construction. The theoretical contribution encompasses advancing the understanding of BIM and Material Passports integration by systematically investigating and proposing a detailed mapping between data requirements for Material Passports and Industry Foundation Classes 4.x, thereby contributing to a theoretical framework for a seamless digital information flow that supports circular economy principles in construction.

**Keywords: (three to five):** BIM, material passport, IFC, EN 15804

#### 1. УВОД

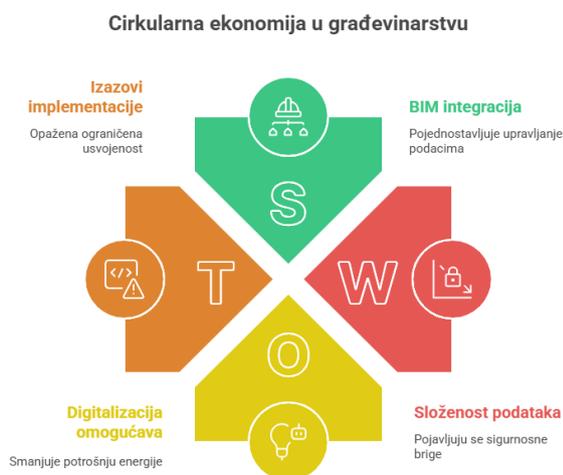
У контексту све већих еколошких изазова и потребе за одрживим развојем, концепт циркуларне економије добија на значају као трансформативни оквир за грађевински сектор. ЦЕ наглашава системе затвореног круга који одржавају ресурсе у употреби што је дуже могуће и минимизирају губитке вредности током животног циклуса, елиминишући отпад и загађење кроз дизајн. Принципи ЦЕ у грађевинарству подразумевају пројектовање зграда и компоненти за дуговечност, могућност адаптације, laku деконструкцију и демонтажу, као и избегавање употребе токсичних материјала. Грађевинска индустрија је један од највећих потрошача ресурса и произвођача отпада, што чини прелазак на ЦЕ императивом [1].

Дигитализација је кључна за овај прелазак, јер омогућава смањење потрошње енергије, рационализацију логистичких процеса, смањење отпада и бољи приступ подацима о животном циклусу производа и његовом потенцијалу за поновну употребу. Дигитални алати попут Building Information Modeling, дигиталних близанаца и материјалних пасоша представљају кључне факторе који омогућавају управљање животним циклусом и оптимизацију ресурса [2].

Building Information Modeling је глобално препозната дигитална платформа у грађевинској индустрији. Користи се за креирање виртуелних реплика нових и постојећих физичких објеката, које садрже податке о величини, облику структуре и инвентару материјала током целог животног циклуса објекта. ВІМ је драгоцено средство за унапређење сарадње, ефикасности и управљања подацима од фазе пројектовања, преко изградње, до експлоатације и краја животног века. Када се интегрише са другим дигиталним технологијама, ВІМ делује као конектор између свих релевантних актера, поједностављујући процесе и повећавајући ефикасност. Кључна предност ВІМ-а је његова способност да интегрише и синхронизује податке о грађевинским материјалима и њиховом утицају на животну средину, омогућавајући еколошке анализе и информисан избор материјала.

**НАПОМЕНА:** Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Игор Пешко, ред. проф.

Кључна веза између циркуларне економије и BIM-а лежи у потреби за структурираним, приступачним и довољно детаљним информацијама о материјалима и компонентама. Да би се принципи циркуларности — поновна употреба, рециклажа и опоравак — успешно применили, неопходно је знати „шта је у згради“, „где се налази“ и „како се може безбедно демонтирати и поново употребити“. Управо ту на сцену ступају материјални пасоши као основни алат, који обезбеђује детаљне информације о својствима, пореклу и потенцијалу материјала за циркуларну употребу. Материјални пасоши су кључни за доношење одлука током избора материјала и процене нивоа циркуларности зграда [3].



Слика 1. Циркуларна економија у грађевинарству

Овај рад настоји да премости јазове између тренутних пракси и захтева циркуларности кроз интеграцију BIM-а и материјалних пасоша, фокусирајући се на дефинисање структура података, правила и алата потребних за њихову примену у реалним пројектима.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

Методологија истраживања детаљно описује метод прегледа литературе, емпиријски план и дизајн студије случаја, изворе података и поступке анализе. Да би преглед литературе био свеобухватан, систематичан и проверљив, примењен је структурирани протокол инспирисан PRISMA принципима. PRISMA смернице пружају контролну листу која побољшава транспарентност и поновљивост, смањујући тиме упитне истраживачке праксе [4].

Ефективно мапирање шеме материјалног пасоша на BIM моделе података је кључно за обезбеђивање интероперабилности и конзистентности података током животног циклуса зграде. Овај процес укључује идентификацију одговарајућих IFC ентитета и својстава који могу да прихвате информације из материјалног пасоша. Главни принципи мапирања обухватају [5]:

- **Коришћење постојећих IFC својстава:** Приоритет се даје стандардним IFC

својствима и скуповима својстава где год је то могуће (нпр. Pset\_MaterialCommon, Pset\_EnvironmentalImpact).

- **Креирање прилагођених Pset-ова:** За атрибуте материјалног пасоша који нису директно подржани у IFC стандарду (нпр. детаљни атрибут циркуларне економије попут ReusabilityPotential или PreferredEndOfLifeScenario), неопходно је дефинисати прилагођене скупове својстава.

BIM може да служи као робусна окосница података за информације о материјалима током целог животног циклуса, са посебним освртом на релевантне IFC ентитете и структуре као што су IfcMaterial, IfcMaterialLayerSet и IfcMaterialConstituent, уз прилагођени Pset\_MaterialPassport и доследно верзионирање и траговљивост измена. Имплементација материјалних пасоша у IFC захтева стратешко коришћење IFC ентитета, својстава и релација како би се осигурало да су све потребне информације адекватно структуриране и доступне за размену. IFC, као платформу-неутралан и отворен стандард, омогућава размену и синхронизацију података међу различитим BIM апликацијама. Штавише, IFC стандард омогућава проширења за специфичне пројектне или клијентске захтеве, чиме се премошћују постојећи јазови.

## Proces Integracije Materijalnog Pasoša u BIM



Слика 2. Интеграција материјалног пасоша у BIM

Развијен је систематски радни ток за генерисање BIM-базираних Material Passports, који обухвата фазе од моделовања и обогаћивања података, преко екстракције и IDS провере, до визуелизације и ажурирања током животног циклуса објекта.

IDS стандард се користи за дефинисање захтева за циркуларност података у машински читљивом

формату. Предложени поступак укључује и тест интероперабилности кроз IFC roundtrip између најмање два софтверска алата, као и процедуре контроле квалитета усклађене са управљањем информацијама по ISO 19650. ISO 19650 се фокусира на информациони менаџмент током целог животног циклуса изграђених објеката, обезбеђујући стандардизацију процеса размене и складиштења информација. QA/QC у BIM моделима се може полу-автоматизовати помоћу визуелног програмирања [6].

### 3. РЕЗУЛТАТИ

Резултати су анализирани у односу на дефинисане метрике успеха, као што су покривеност атрибута, усаглашеност по IDS правилима, време/ручни напор, и подршка индикаторима циркуларности. Презентација резултата произилази из симулиране примене предложеног оквира и радног тока у контролисаном, синтетичком окружењу.

Симулирана процена квалитета података дала је одличне резултате, са високим оценама за комплетност, тачност, доследност и исправност типова података. Ово је био очекиван исход с обзиром на синтетичку природу скупа података. Покривеност атрибута је била изузетно висока, где су сви обавезни атрибути Материјалног пасоша, дефинисани у предложеној шеми, били доследно попуњени у симулираном BIM моделу.

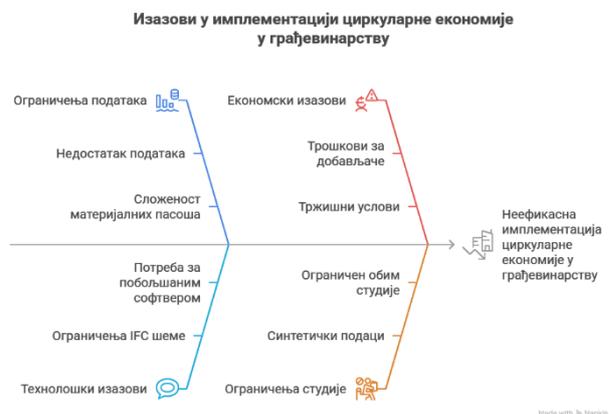
Симулирано "кружно путовање" интероперабилности, укључујући концептуални извоз BIM модела као IFC 4.x датотеке и његово накнадно "учитавање" од стране хипотетичке платформе за материјалне пасоше, било је веома успешно, демонстрирајући беспрекоран проток информација. Ови подаци укључују потенцијал поновне употребе материјала, стопе могућности рециклаже и отелотворени угљенични отисак. BIM може да квантификује кључне индикаторе перформанси циркуларне економије, укључујући трошкове материјала, потрошњу, трошкове рециклаже и стопе употребе рециклираних материјала [7].

Подаци материјалног пасоша екстраховани из симулираног BIM модела успешно су подржали израчунавање и визуелизацију кључних индикатора циркуларности. Ово наглашава акциони увид који пружају структуриране информације о материјалима за одрживо доношење одлука. Интеграција BIM-а са ГИС-ом такође показује да се циркуларност може подржати селективним издвајањем семантичких података из IFC модела, значајно смањујући обим података уз очување потребних атрибута. Развијају се и базе података као што је CirBIM, које пружају робусне податке за побољшање циркуларности током животног циклуса зграда. За процену циркуларности грађевинских пројеката, предложен је и систем Бодовања циркуларности зграда који укључује енергетски, водени и материјални биланс, као и друштвени и еколошки утицај и трошкове животног циклуса.

### 4. ДИСКУСИЈА

Дискусија повезује налазе са истраживачким питањима и хипотезама, разматра импликације по праксу, стандарде и даља истраживања, уз осврт на ограничења и осетљивост резултата. Анализа показује вредност и празнине у досадашњим истраживањима. Резултати указују на потребу за методама и алатима који повезују стандарде, податке и економију, уз јасне процедуре за постојећи грађевински фонд и крај животног циклуса [8].

Један од кључних изазова у примени ЦЕ у грађевинарству је недостатак података и потешкоће у праћењу материјала и елемената. Материјални пасоши, иако нуде решење, садрже огромну количину комплексних информација које се морају редовно ажурирати и бити доступне многим странама, што ствара сложена безбедносна питања. Постојеће технологије морају се унапредити како би се побољшало коришћење дигиталних материјалних пасоша. Имплементација ЦЕ принципа није широко усвојена од стране грађевинских компанија, што указује на значајан простор за побољшање у областима као што су координација политика, тржишни услови и развој пословних модела. Прелазак на ЦЕ ће укључивати многе изазове који захтевају детаљније анализе, укључујући економско оптерећење за добављаче и произвођаче грађевинских производа за декларацију материјалних пасоша. Такође, ограничења IFC шеме и софтверских алата могу отежати детаљну репрезентацију материјала у BIM моделима, што често захтева додавање прилагођених параметара.



Слика 3. Изазови у имплементацији циркуларне економије у грађевинарству

Примарна ограничења студије укључују ослањање на синтетички генерисани скуп података за студију случаја, који не може у потпуности реплицирати сложеност, недоследности и грешке својствене BIM моделима из стварног света и подацима ланца снабдевања. Такође, студија се фокусирала на ограничен сценарио зграда и није обухватила све могуће типове зграда, материјале или сложеност пројекта. У реалном сценарију, постизање овог нивоа квалитета података захтевало би ригорозне протоколе

уноса података, ефикасно BIM управљање и широко усвајање IDS-попут алата за валидацију.

## 5. ЗАКЉУЧЦИ

Закључци резимирају кључне налазе и дају одговоре на истраживачка питања. Истичу се теоријске, практичне и политике-оријентисане импликације.

**Теоријске импликације:** Ово истраживање доприноси теоријском разумевању BIM-базираних материјалних пасоша. Оно појачава и елаборира теоријску улогу BIM-а не само као алата за дизајн и управљање, већ као критичне дигиталне инфраструктуре за омогућавање принципа циркуларне економије у грађевинарству. Истраживање теоријски позиционира BIM-базирани Материјалне пасоше у ширем, надлазећем окружењу Дигиталних пасоша производа и Дигиталних грађевинских дневника, разјашњавајући њихове међусобне везе.

**Практичне импликације:** Рад нуди водич за BIM менаџере и практичаре за имплементацију материјалних пасоша у BIM радним токовима. Ови налази колективно наглашавају трансформативни потенцијал интеграције BIM-а и материјалних пасоша за унапређење циркуларности у изграђеном окружењу. BIM има потенцијал да значајно смањи трошкове управљања отпадом у грађевинарству, доприносећи декарбонизацији сектора. Интегрисани информациони системи су кључни за праћење, управљање и евалуацију података о материјалима током целог животног циклуса [9].

**Импликације политике:** Подразумевају подстицање стварања националних или регионалних отворених репозиторијума података о материјалима и производима. Истраживање систематизује релевантне стандарде и политике (као што су ISO 19650, EN 15804, EN 15978, EU Level(s), CPR/DPP/DBL) и шеме/класификације (IFC, IDS, COBie, Uniclass/OmniClass/CoClass).

Будући правци истраживања укључују спровођење емпиријских студија на стварним грађевинским пројектима ради валидације предложеног оквира и радног тока. Постоји потреба за емпиријском валидацијом са комплексним BIM моделима из стварног света и стварним подацима ланца снабдевања. Такође, предлажу се студије економске изводљивости и анализе имплементације политике како би се демонстрирала економска изводљивост и поврат улагања за имплементацију BIM-базираних материјалних пасоша, као и анализа утицаја нових политика на њихово усвајање и ефикасност. Дигиталне технологије попут IoT, Blockchain и вештачке интелигенције могу додатно убрзати процес циркуларности у грађевинарству.

## 6. РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] S. Banihashemi, S. Meskin, M. Sheikhhoshkar, S. R. Mohandes, A. Hajirasouli, и K. LeNguyen, „Circular economy in construction: The digital transformation perspective“, *Clean. Eng. Technol.*, том 18, стр. 100715, Феб. 2024, doi: 10.1016/j.clet.2023.100715.
- [2] M. H. Rasmussen, *Digital Infrastructure and Building Information Modeling in the Design and Planning of Building Services*. Kgs. Lyngby: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 2019.
- [3] A. Aguiar, R. Vonk, и F. Kamp, „BIM and Circular Design“, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, том 225, изд. 1, стр. 012068, Јан. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012068.
- [4] M. J. Page и остали, „The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews“, *Int. J. Surg.*, том 88, стр. 105906, Апр. 2021, doi: 10.1016/j.ijso.2021.105906.
- [5] I. Markou, D. Sinnott, и K. Thomas, „Current methodologies of creating material passports: A systematic literature review“, *Case Stud. Constr. Mater.*, том 22, стр. e04267, Јули 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04267.
- [6] I. Kovacic и M. Honic, „Scanning and data capturing for BIM-supported resources assessment: a case study“, *J. Inf. Technol. Constr. ITcon*, том 26, изд. 32, стр. 624–638, Авг. 2021, doi: 10.36680/j.itcon.2021.032.
- [7] V. Göswein, S. Carvalho, C. Cerqueira, и A. Lorena, „Circular material passports for buildings – Providing a robust methodology for promoting circular buildings“, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, том 1122, изд. 1, стр. 012049, Дец. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1122/1/012049.
- [8] B. Sanchez, M. Honic, F. Leite, P. Herthogs, и R. Stouffs, „Augmenting materials passports to support disassembly planning based on building information modelling standards“, *J. Build. Eng.*, том 90, стр. 109083, Авг. 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.109083.
- [9] E. Bayazidi, M. Jelodar, W. Shahzad, V. Kumar, и S. Shooshtarian, „Integrating Circular Economy Principles in Construction: Comparing Product Data Templates, Material Passports, and Other Digital Tools“, *CIB Conf.*, том 1, изд. 1, Јуни 2025, doi: 10.7771/3067-4883.2139.

**Кратка биографија:** Милан Јовин рођен је у Новом Саду 2001. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинско инжењерство одбранио је 2025.год.

Контакт: mjovin@uns.ac.rs