

LCC VREDNOTENJE Z UPORABO BIM-ORODJA V ZGODNJI FAZI PROJEKTIRANJA TRAJNOSTNIH STAVB

LCC EVALUATION USING BIM IN THE EARLY DESIGN STAGE OF SUSTAINABLE BUILDING DESIGN

asist. Maja Žigart, mag. inž. arh.

maja.zigart@um.si

izr. prof. dr. Metka Sitar, univ. dipl. inž. arh.

metka.sitar@um.si

asist. dr. techn. Marko Jaušovec, univ. dipl. inž. arh.

marko.jausovec@um.si

UM, Fakulteta za gradbeništvo, prometno

inženirstvo in arhitekturo

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek

UDK 624:72(035)

Povzetek | Pri prizadevanjih za trajnostno gradnjo je vprašanje optimizacije investicije v središču odločanja vseh deležnikov v načrtovanju, gradnji in uporabi stavbe. V članku so povzete ugotovitve ekonomskega vrednotenja objekta z uporabo informacijskega modela stavbe (BIM) in analize stroškov življenjskega cikla (LCC). Pri avtomatizaciji procesa vrednotenja sta bili uporabljeni dve programski orodji, Graphisoft Archicad za BIM v kombinaciji s programsko opremo Legep za LCC. Preizkus modela na študiji primera potrjuje domnevo, da je ocenitev stroškov v življenjskem ciklu z uporabo BIM v povezavi z LCC z vključeno podatkovno bazo gradbenih elementov možna že v zgodnji fazi projektiranja. Z vidika deležnikov takšen pristop omogoča izbor optimalnih rešitev v zvezi z vrsto odločitev pri projektiranju stavbe.

Ključne besede: BIM, LCC, stroškovna analiza, življenjski cikel stavbe

Summary | With regard to efforts to achieve sustainable architectural design, the question of cost optimal investment is in the focus of the decision-making process of stakeholders in building sector. The article summarizes the findings of the economic assessment of buildings using Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Cost (LCC) cost analysis. To exploit the automated evaluation process within the computing environment, several tools were used, including Graphisoft Archicad software for BIM in combination with Legep software for LCC. The case study model confirms the assumption that the economic assessment of a building can already be done in the early stages of design, if the BIM model is used in combination with LCC tools with integrated databases of building elements. From a stakeholder perspective, such an approach enables the optimal decision making on a range of solutions in the design process of a building.

Key words: BIM, LCC, economic analysis, building life cycle

1 • UVOD

V družbi je že dalj časa prisotna skrb za kakovost okolja, v zadnjih desetletjih zlasti zaradi škodljivih vplivov, povezanih z gradnjami. Veliko pove podatek, da gradbena industrija že z rabo surovin in proizvodnjo gradbenih materialov močno vpliva na trajnostnost (Yin, 2018). Gradbeni sektor v EU je odgovoren za 38 % emisij ogljikovega dioksida (CO₂) in 40 % celotne porabe energije (Evropska komisija, 2018). Pri tem je pomemben podatek, da v Sloveniji energija za ogrevanje stavb predstavlja približno 25 %-ni delež celotne porabe energije, h kateremu bistveni delež prispevajo individualne hiše, ki predstavljajo 75 % stanovanjske gradnje in s tem 55 % celotne površine stavbnega sektorja (Zavrl, 2012). Kot enega ključnih dokumentov za zmanjšanje porabe energije in emisij je EU uvedla direktivo o energetski učinkovitosti stavb 2002/91/ES (EPBD, 2002). Slovenija je leta 2010 uskladila zahteve s sprejetjem Pravilnika o učinkovitosti rabi energije v stavbah (PURES), ki vključuje tehnične smernice za graditev »TSG-1-004 Učinkovita raba energije z minimalnimi standardi za načrtovanje, gradnjo in vzdrževanje trajnostnih stavb« (PURES, 2010). V okviru aktualnih prizadevanj za gradnjo udobnih in kakovostnih stavb s čim manjšo porabo energije je treba najprej razumeti procese. Potem sledi njihova optimalizacija, ki poteka v celotnem življenjskem ciklu stavb. Posledično so na vseh področjih, povezanih z gradnjo stavb, vedno bolj prisotne različne metode trajnostne optimizacije, prepoznavne kot ključna orodja za načrtovanje stanovanjskih okolij (Skalicky, 2019), gradbenih konstrukcij (Žula, 2019) in odprtega prostora (Rozman Cafuta, 2015).

Med pomembnimi vidiki vrednotenja trajnostnih stavb je poleg okoljskega in socialnega

tudi ekonomski vidik. Raziskave so pokazale, da so stroški uporabe stavbe v daljšem življenjskem obdobju lahko tudi do štirikrat višji od stroškov načrtovanja in gradnje ((BS ISO 15686-5:2017), (White, 2016)). Začetni stroški v procesu gradnje stavb znašajo sicer manj kot 30 % celotnih stroškov življenjskega cikla, vendar predstavljajo bistven dejavnik odločitve o investiciji (Far, 2015). Obenem velja, da se kar 80 % možnih prihrankov pri investiciji in obratovanju stavbe opredeli že v začetni fazi načrtovanja (Hofer, 2011). Takrat je mogoče v veliki meri vplivati na njeno učinkovitost. Pri tem so odločilnega pomena zlasti odločitve glede zasnove in toplotnega ovoja stavbe kakor tudi izbire materialov, ogrevalnih ter drugih energetskega sistemov.

Metode vrednotenja, ki izpostavljajo ekonomski vidik, so povezane z doslednim spremljanjem stroškov v celotnem življenjskem ciklu stavbe. Za vse deležnike pri načrtovanju, gradnji in uporabi stavbe, od lastnika, investitorja, javnih služb, arhitekta, projektanta do izvajalca in uporabnika, je pomembno, da stavba ohranja svojo vrednost tudi v prihodnosti. V ta namen se je uveljavila stroškovna analiza življenjskega cikla stavbe na osnovi LCC (Life Cycle Cost). Ta je bila že leta 1995 definirana kot skupni strošek lastništva, upravljanja, vzdrževanja in odstranjevanja stavbe ali sistema v stavbi v določenem obdobju (Fuller, 1996).

Analize LCC zahtevajo enostaven dostop do informacij in uporabo podatkov v realnem času. Temu ustreza informacijski model stavbe BIM (Building Information Model), ki ponuja ustrezen repozitorij podatkov (Deshpande, 2014). Številne metode optimizacije stroškov uporabljajo ročni postopek, ki pravilo-

ma ne dosega visoke stopnje natančnosti podatkov (Ferrara, 2016). Nasprotno pa lahko avtomatiziran postopek s pomočjo BIM-modela natančnost rezultatov bistveno izboljša (Basbagill, 2014). BIM-orodja prav tako zagotavljajo samodejni delovni proces za pretvorbo modela BIM v energijski model stavbe BEM (Building Energy Model) za celovito analizo rabe energije v stavbi. To omogoča projektantom učinkovitejšo zasnovo trajnostne stavbe in s tem optimizacijo stroškov že v zgodnji fazi načrtovanja.

Pri ekonomskem vrednotenju z uporabo BIM je ključna prednost ta, da se podatki, ki jih pridobimo iz BIM-modela, kvalitetnejši in natančnejši ter omogočajo visoko stopnjo sinhronizacije med orodji (Ren, 2017). Nadalje uporaba stroškovnih orodij, povezanih z BIM, predstavlja dober način strukturiranega merjenja stroškov skozi življenjski cikel stavbe (Love, 2015). BIM namreč omogoča iterativne postopke v zasnovi objekta in s tem prispeva k izvedbi multidisciplinarnih optimizacijskih metod (Sakikhales, 2015). LCC predstavlja ključno orodje za presojo ekonomske trajnostnosti v gradbeništvu, ki vključuje ekonomsko analizo variantnih rešitev načrtovanja stavb glede na različne investicijske stroške, stroške v času uporabe in rabe virov (Langdon, 2007).

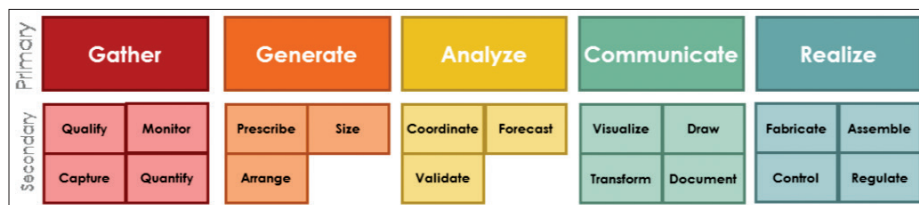
Cilj študije je razvoj razširjenega modela ekonomskega vrednotenja stavbe z namenom uporabe informacijskega modela stavbe. V prvem delu članka sta opisana razširjeni model in metodologija, ki nam s pomočjo BIM in BEM ter z obširno bazo podatkov gradbenih elementov omogočata ekonomsko vrednotenje stavbe že v zgodnji fazi projekta. V nadaljevanju članka so podrobneje predstavljeni aplikacija razvitega modela na primeru ekonomskega vrednotenja manjše enodružinske hiše in rezultati takšne analize.

2 • METODOLOGIJA

Programska oprema BIM omogoča modeliranje in simuliranje procesa gradnje stavbe v virtualnem okolju v povezavi z različnimi programskimi orodji LCC, pa tudi vrednotenje stroškov gradnje in obratovanja stavbe. Ključni podatki modela BIM predstavljajo informacije o lastnostih posameznih gradbenih elementov stavbe. S pomočjo določenih programskih orodij, kot je npr. Graphisoft Archicad, pa lahko na osnovi izračuna o letni potrebni energiji

za obratovanje stavbe izvedemo neposredno analizo rabe energije v stavbi. Ta vključuje tudi stroške vzdrževanja in obratovanja stavbe. Pri tem je pomembno izdelati natančen načrt s časovnim in stroškovnim okvirom ter razporedom servisnih in vzdrževalnih del, kar zagotavlja integrirani pristop za celovito oceno stroškov vzdrževanja in storitev (Far, 2015). BIM omogoča digitalno predstavitev fizičnih in funkcionalnih lastnosti stavbe, istočasno

pa tudi sprejemanje odločitev vseh deležnikov na osnovi deljenih in združenih informacij v modelu. Temu ustreza opis Nacionalnega standarda informacijskega modela o stavbah v ZDA (NBIMS, 2007). Ta opisuje BIM kot izdelavo elektronskega modela stavbe z namenom vizualizacije objekta, statične analize objekta, analize konfliktov, preverjanja standardov, stroškovnih analiz, priprave proračuna ter za številne druge namene. V študiji primera smo za LCC-analizo uporabili t. i. namene uporabe BIM po Kreiderju in Messnerju (Kreider, 2013). Opredeljeni so kot metoda uporabe informacijskega modeliranja skozi življenjski



Slika 1 • Nameni uporabe BIM po Kreiderju in Messnerju (Kreider, 2013).

cikel stavbe za dosego enega ali več ožjih ciljev (slika 1). Primarni nameni uporabe vključujejo zbiranje (angl. gather), izdelavo (angl. generate), analizo (angl. analyze), komunikacijo (angl. communicate) in realizacijo (angl. realize).

Na podlagi celotne strategije vrednotenja objekta je bilo treba določiti implementacijo BIM v LCC ter posledično na podlagi vizije in ciljev za projekt določiti ustrezne namene uporabe

uporabljen Graphissoft Archicad za izdelavo BIM- in BEM-modela ter LEGEP za celostno stroškovno analizo in vrednotenje. Nadalje smo v razširjenem modelu določili, kako se bodo med vrednotenjem informacije zbirale, izdelale, analizirale ter kako bo potekala komunikacija med programsko opremo in kako se bodo rezultati vrednotili. Pri razvoju modela je bilo ključno upoštevati celotno življenjsko dobo objekta, ki upošteva tako prvotno inves-

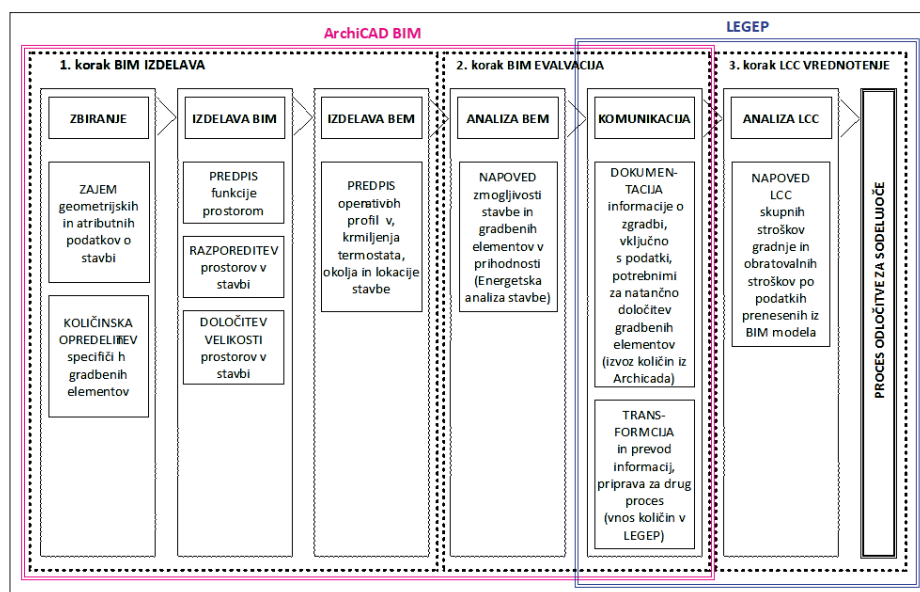
elementov stavbe, sestavljenih iz različnih gradbenih materialov. Gradbeni materiali niso prikazani zgolj grafično, temveč vključujejo tudi podatke o njihovih fizikalnih lastnostih, kot so debelina, gostota, specifična toplota, toplotna prevodnost itd. Gradbene elemente stavbe v BIM predstavljajo kompoziti, kot so stene, plošče, streha..., sestavljeni iz različnih materialov.

Drugi korak predstavlja BIM-evaluacija na osnovi energijske analize BEM-modela z uporabo Archicada, komunikacija rezultatov med Archicadom in orodjem LEGEP za LCC-analizo. Podatke o količinah posameznih gradbenih elementov stavbe z vsemi parametri, pridobljenimi s pomočjo orodja Schedules, izvozimo iz programa Archicad in jih uvozimo v Legep za LCC-analizo. V kolikor analiziramo stavbe, ki še niso zgrajene, za oceno LCC v analizi stroškov gradnje in obratovanja uporabimo predvideno učinkovitost stavbe in gradbenih elementov na osnovi baze podatkov o stroških gradnje SIRADOS¹, ki jo avtomatsko uporablja orodje Legep (Koenig, 2012).

Zadnji, tretji korak predstavlja LCC-vrednotenje na osnovi analize rezultatov v obliki možnih rešitev za različne udeležence v procesu projektiranja stavbe. Proces projektiranja vključuje faze gradnje, obratovanja stavbe, vključno s porabo energije, ter stroške vzdrževanja in obnove. Z vidika deležnikov uporabljen razširjeni model predstavlja pomembno orodje za neposrednim ekonomskim vplivom, saj omogoča odločanje o bistvenih elementih stavbe v zgodnji fazi načrtovanja.

Postopki vrednotenja LCC zahtevajo dodatne podatke in posebna pravila za analize daljših časovnih obdobij, vključno s stopnjo inflacije. Zato so v študiji primera uporabljeni sledeči privzeti ekonomski dejavniki za namenom dinamičnega izračuna LCC: 2 % inflacije stroškov gradnje, 4 % inflacije cen energentov, 3,5 % realna obrestna mera ter 5,5 % kapitalna obrestna mera. Le-ti se ujemajo s podatki Statističnega urada Republike Slovenije (SURS, 2018) ter parametri LCC-izračunov po sistemu DGNB in NaWoh, ki ju uporablja programsko orodje Legep (Koenig, 2017).

Pri dinamičnem LCC-izračunu se stroški, ki nastopijo kasneje, ekstrapolirajo na prihodnje vrednosti z uporabo stopnje inflacije (Moyer, 2011). Posledično so vse vrednosti podane v sedanji vrednosti. Ta predstavlja razliko med sedanjo vrednostjo izdatkov za pridobitev dolgoročne naložbe in sedanjo vrednostjo neke denarnih tokov od te naložbe ter se jo uporablja za ocenjevanje ustreznosti dolgoročnih projektov (Kruschwitz, 2010).



Slika 2 • Razširjeni model vrednotenja LCC na osnovi izbranih namenov uporabe BIM po Kreiderju (Kreider, 2013).

BIM z aplikacijo LCC na stanovanjski stavbi. V zgodnji fazi načrtovanja projektov je pomembno prepoznati najustreznejše uporabe BIM glede na specifične značilnosti projekta, saj je v fazi projektiranja mogoče veliko različnih tradicionalnih nalog nadomestiti z implementacijo BIM. Tako smo za razširjeni model vrednotenja izbrali ustrezne primarne in sekundarne namene uporabe BIM. Razvoj razširjenega modela je vključeval določitev namenov uporabe in dodatnih značilnosti za vsako uporabo BIM ter razdelitev in dopolnitev le-teh s primerno programsko opremo, in sicer glede na faznost vhodnih in predvsem izhodnih podatkov (npr. BIM- in BEM-analiza). Tako sta

ticijo kakor tudi uporabo objekta. Na ta način smo razvili razširjeni model celovitega vrednotenja stavbe, ki predstavlja proces povezave BIM in LCC (slika 2).

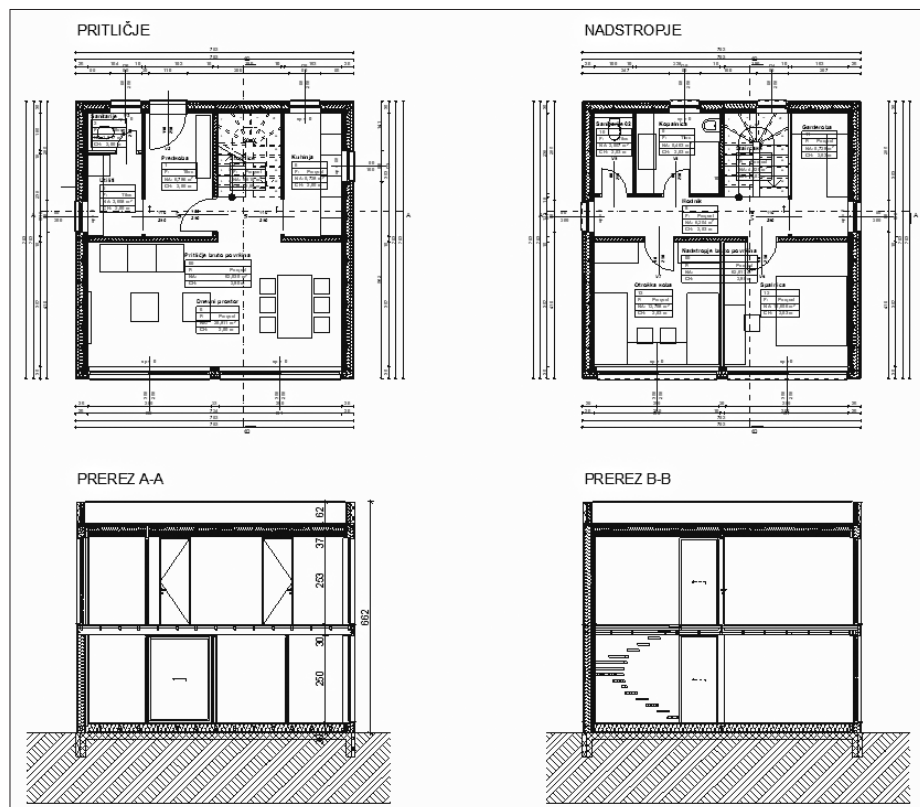
Prvi korak razširjenega modela predstavlja izdelava BIM-modela, v sklopu katerega najprej poteka zbiranje geometrijskih in drugih podatkov. Njihov namen je predstaviti trenutno in/ali željeno stanje stavbe ali stavbnih elementov. V nadaljevanju je treba za kasnejšo razčlenitev stroškov LCC opredeliti potrebno količino posameznih gradbenih elementov. Ko so zbrani vsi potrebni podatki o stavbi, izdelamo virtualni model v programskem orodju Archicad, ki podaja lastnosti gradbenih

¹ Ena od vodilnih baz podatkov na trgu dokumentacije stroškov gradbenih del v Evropi (SIRADOS, 2016).

3 • APLIKACIJA METODE NA VZORČNEM PRIMERU

Aplikacijo predstavljenega modela pokažemo na primeru vrednotenja manjše enodružinske hiše (slika 3).

vano prostornino 251,32 m³. Zgrajena je v nizkoenergijskem konstrukcijskem sistemu Canopea, z izjemo armiranobetonske temeljne plošče.

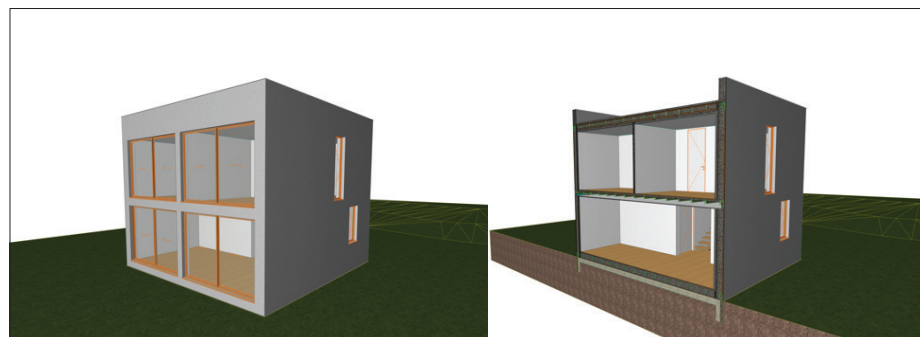


Slika 3 • Načrt enodružinske hiše s konstrukcijskim sistemom Canopea.

3.1 Izdelava BIM

V prvem koraku izdelave BIM-modela smo zbrali in organizirali splošne informacije o stanovanjski hiši za štiric člansko družino, ki je preproste kubične oblike z notranjimi dimenzijami 7,20 m × 7,20 m. Stavba s 116 m² skupne bruto tlorisne površine, 99,89 m² neto tlorisne površine in notranjo ogre-

Sistem Canopea je zmagovalce tekmovanja Solar Decathlon Europe (SDE) 2012, katerega cilj je spodbujanje raziskav in inovacij trajnostne, pametne gradnje s poudarkom na zasnovi stavbe, ki porablja čim manj virov in energije (SDE, 2019). Zatem ko smo zbrali vse geometrijske in atributne podatke posameznih gradbenih elementov ter njihove količine, smo



Slika 4 • Priprava BIM-modela v Archicadu.

izdelali virtualno stavbo kot BIM-model v orodju Archicad (slika 4).

3.1.1 Toplotni ovoj Canopea

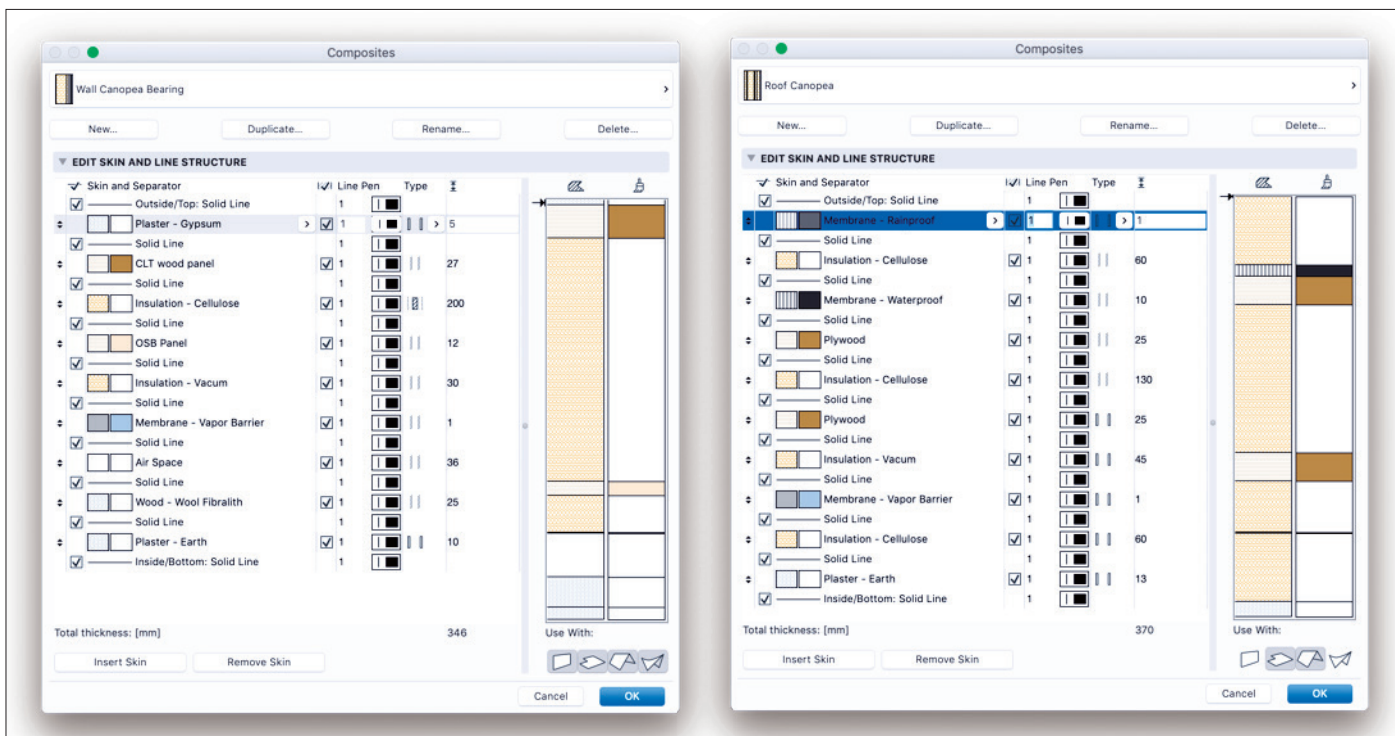
Konstrukcijski sistem Canopea (slika 5) vključuje visokozmogljiv toplotni ovoj, izveden v okvirno-panelnem lesenem sistemu na osnovi montažne jeklene konstrukcije ogrodja. Napolnjen je s toplotno izolacijo iz celuloze v kombinaciji z vakuumskimi izolacijskimi ploščami na notranji strani in Kerto-Q LVL-ploščami na zunanji strani ovoja stavbe. Notranji končni sloj predstavlja zemeljski omet, zunanji ovoj pa je možno izvesti z različnimi, praviloma lokalnimi materiali. V programskem orodju Archicad smo izdelali tudi kompozitne sestave zunanjih zidov, strehe (slika 5) ter drugih stavbnih elementov (temeljne plošče, stropne plošče, notranjih zidov).

Zidovi in streha v konstrukcijskem sistemu Canopea imajo nizke U-vrednosti, in sicer zid 0,08 W/m²K ter streha 0,07 W/m²K. U-vrednost betonske temeljne plošče je 0,15 W/m²K. Predvidena je trislojna zasteklitev okenskih odprtin z lastnostmi stekla U_g = 0,49 W/m²K in g-vrednostjo 52%. Okna so izdelana z lesenimi okvirji z U_f = 0,72 W/m²K, senčena z zunanjimi žaluzijami.

3.2 Izdelava energijskega modela BEM

Drugi korak razširjenega modela predstavlja proces BIM-analize, s katerim smo model BIM s pomočjo dodatnih nastavitev v Archicadu neposredno pretvorili v energijski model stavbe BEM znotraj enega programa. V ta namen smo določili toplotne bloke stavbe, sestavljene iz ene ali več toplotnih con (slika 6), ki predstavljajo volumen zraka znotraj posameznega prostora ali sobe. Hkrati so se določile tudi termične lastnosti konstrukcijskih sistemov (slika 7).

Nadalje smo določili enovit profil obratovanja v celotni stavbi. Najnižja temperatura je v skladu s tehnično smernico za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (TSG-1-004, 2010) 20 °C, najvišja temperatura pa je omejena na 26 °C. V stavbi smo predvideli ogrevanje in ohlajevanje objekta med 6. in 23. uro ter LED-razsvetljavo za izračun potreb električne energije in notranjih dobitkov. Za hišo, namenjeno bivanju štirih oseb, smo privzeli nastavitve stanovanjskega profila v programskem orodju Archicad: 120 W dobitka toplote, 150 l porabe vode ter 10 g vlage na m² na osebo na dan. Te vrednosti odražajo specifikacije obratovalnega profila po standardu DIN 18599 o energetski učinkovitosti stavb (EcoDesigner STAR User Manual, 2014).



Zid (zunanji)	
material	deb. (mm)
Tanek omet	2
Armatura	3
Kerto-Q LVL-panel	27
Toplotna izolacija iz celuloze	200
OSB-plošča	12
Vakuumsko izolacijski panel	30
Parna zapora	0.2
Jekleni nosilci	35x84
Paneli Fibralith	25
Zemeljski omet	10
Debelina zidu (mm)	346
U-vrednost (W/m2K)	0,08

Streha	
material	deb. (mm)
Polietilenska hidroizolacija	
Leseni nosilci + izolacija iz celuloze	60
Kerto-Q LVL paneli	25
Toplotna izolacija iz celuloze	130
Kerto-Q LVL paneli	25
Vakuumsko izolacijski paneli (les. nosilci)	45
Parna zapora	0.2
Toplotna izolacija iz celuloze (les. nosilci)	60
Reflektivna izolacijska plast	10
MK-plošča	12.5
Zemeljska barva (Akterre)	3
Debelina strehe (mm)	370
U-vrednost (W/m2K)	0,07

Slika 5 • Kompozitna sestava gradbenega elementa zunanjega zidu in strehe v konstrukcijskem sistemu Canopea v orodju Archicad z osnovnimi podatki.

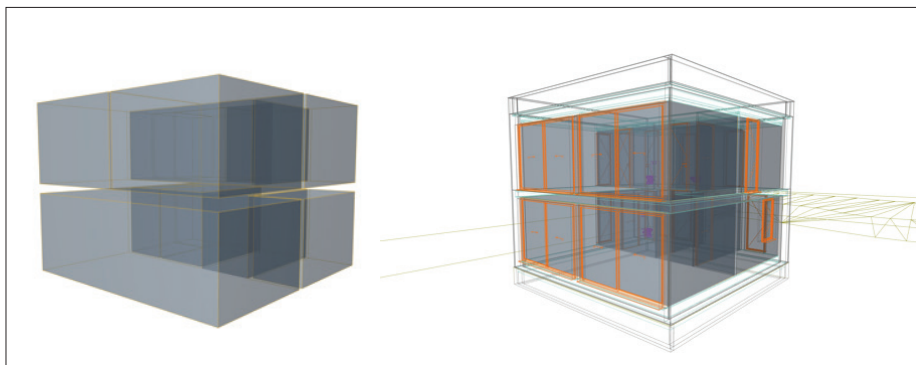
V sklopu BIM-modela smo opredelili podatke o lokaciji in aktivnih tehničnih sistemih v stavbi.

Lokacija stavbe je v Mariboru na 46° 34'53" N, 15° 38'22" E in nadmorski višini 297.00 m (slika 8). Odprta zastekljena fasada

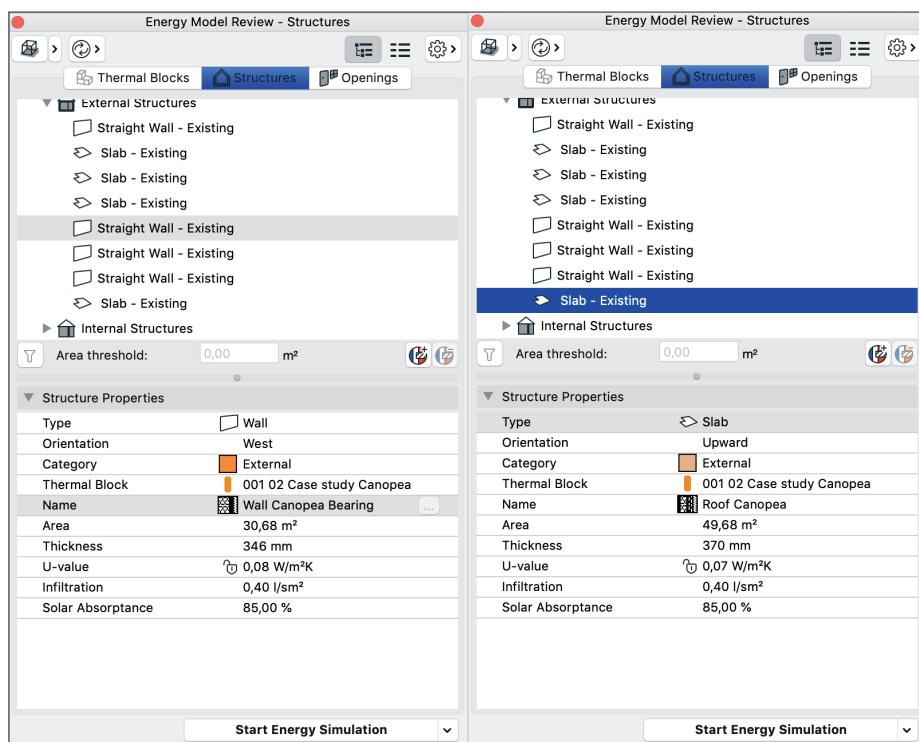
dnevnega prostora je usmerjena proti jugu. Po podatkih strežnika klimatskih podatkov Strusoff, ki ga Archicad uporablja za energetsko analizo, mesto Maribor spada v podnebno vrsto A, območje 5A, s povprečno letno temperaturo 10,55 °C, z minimalnimi temperaturami -9,67 °C v januarju ter najviš-

jimi temperaturami +38,82 °C v juliju (slika 8). Povprečna letna vlaga znaša 78,82 %, povprečno sončno sevanje 163,80 Wh/m², vetrovi pa dosegajo povprečno hitrost 2,38 m/s.

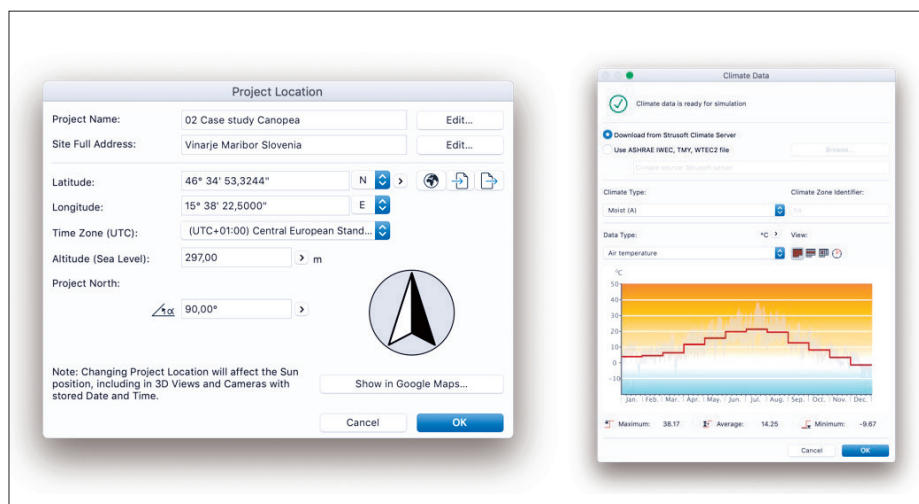
Potrebe po ogrevanju in proizvodnji tople vode so zagotovljene s toplotno črpalko zrak-voda



Slika 6 • Toplotni bloki za energijski model stavbe (BEM).



Slika 7 • Termične lastnosti izbranega konstrukcijskega sistema v orodju Archicad za zid in streho.



Slika 8 • Geografska lokacija s klimatskimi podatki v Archicadu.

z močjo 11,8 kW in koeficientom učinkovitosti COP 4,0. To je v skladu s tehnično smernico za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (TSG-1-004, 2010). Priprava tople vode za gospodinjstvo predvideva povprečno temperaturo 10 °C za hladno vodo in 60 °C za toplo vodo, kot to predvideva standard DIN 18599 (EcoDesigner STAR User Manual, 2014). V stavbi je predvideno hlajenje, naravno prezračevanje pa poteka z izmenjavo zraka 0,3 1/h.

3.2.1 Povezava orodij BIM in LCC

Razširjeni model v drugem koraku predvideva preplet orodij BIM (Archicad) in LCC (Legep) kot komunikacijo med orodjema. Najprej smo dokumentirali podatke BIM-modela tako, da smo natančno določili količine posameznih gradbenih elementov. To smo izvedli s pomočjo orodja Schedules² v Archicadu v obliki volumnov in površin (preglednica 1).

Za prenos količin gradbenih elementov iz Archicada v Legep smo uporabili tako imenovane grobe in drobne elemente (preglednica 2) iz obsežne baze podatkov SIRADOS, ki jo ta uporablja. Grob element v Legepu je zbirka drobnih elementov, ki opisuje stavbo konstrukcijo za predvideno stavbo (npr. strešna konstrukcija, zidna konstrukcija ...). Ker količinsko evidentiranje gradbenih objektov ni normirano s standardi, je bilo potrebno predpostaviti pogoje zajemanja gradbenih elementov. Tako smo količine določili z zunanjimi robovi le-teh. Upoštevati pa je treba zmanjšanje notranjih sestavnih slojev, npr. v vogalih ali stikih plošče in stene. Tako smo vsak grob element razdelili na skupne sloje drobnih elementov, ki imajo enako površino. Natančne količine volumnov in površin avtomatsko pridobljene s pomočjo orodja Schedules iz BIM-modela v Archicadu so nato ročno vpisane v pripadajoče dele grobih elementov v orodju Legep v razmerju 1 : 1 (slika 9).

3.3 LCC-analiza

Zadnji, tretji korak predstavlja vrednotenje na osnovi LCC-analize stavbe. Iz podatkov BIM-modela smo najprej izvedli napoved LCC, ki vključuje stroške gradnje, vzdrževanja in uporabe stavbe, pri čemer je za dosledna dva določena življenjska doba 50 let. Faza rušitve in odstranitve objekta v študiji primera ni bila upoštevana.³

² Avtomatizacija procesa dokumentacije v Archicadu v obliki izvoza dejanskih količin zmodeliranih elementov z določitvijo ustreznih parametrov.

Components by Layers		
Name	Volume (m ³)	Area (m ²)
Interior Partition		
Gypsum Plasterboard	1,25	82,75
Gypsum Plasterboard construction	0,86	87,84
Insulation Mineral Soft	1,85	36,77
Site & Landscape Terrain		
Soil	2.629,78	1.177,91
Structural Bearing		
Air Space	4,00	110,95
Air Space Frame	10,45	55,02
CLT wood panel	3,71	136,88
Gypsum Plasterboard	1,95	147,57
Gypsum Plasterboard construction	1,68	140,14
Insulation Cellulose	37,88	293,40
Insulation Mineral Hard	4,52	40,75
Insulation Mineral Soft	21,67	169,33
Insulation Vacuum	5,68	164,10
Membrane Rainproof	0,06	60,02
Membrane Vapor Barrier	0,16	181,36
Membrane Waterproof	0,70	141,44
OSB Panel	4,48	295,53
Plaster Earth	1,57	141,49
Plaster Gypsum	0,95	174,55
Plywood	2,58	103,24
Reinforced Concrete Structural	14,23	74,92
Stone Finish	0,12	8,49
Timber Floor	1,61	106,81
Wood Wool Fibralith	2,37	94,36
Structural Bearing steel structure		
	3,91	
Teracce		
Timber Teracce	1,35	54,00

Preglednica 1 • Izvoz podatkov v obliki Schedules iz Archicada.

Element	Določitev stroškov	Opis
Gradbeni element 	Stroškovni okvir	Opisuje celotno konstrukcijo (KG 300) ali tehnično opremo (KG400) stavbe
Makro element 	Ocena stroškov	Opisuje sestavni del stavbe (npr. strop, vključno z vsemi sloji, stopnicami itd). Cena se izračunava iz osnovnih drobnih elementov.
Grobi elementi 	Izračun stroškov	Grobi element je zbirka drobnih elementov, ki opisuje stavbo konstrukcijo za predvideno stavbo (npr. strešna konstrukcija, zidna konstrukcija ...). Cena se izračuna iz drobnih elementov.
Drobni elementi 	Izračun stroškov/predračun	Skupni popis vseh storitev v začetni ali zaključni fazi gradnje (npr. opečna kritina s podkonstrukcijo, sekundarna kritina ...). Cena se izračuna avtomatsko iz cen posameznih pozicij.
Storitev	Predračun	Opisuje konkretno storitev s potrebnimi materialnimi stroški, delom in časom. Dejanske cene z možnostjo odstopanja (od – povprečno – do cene).

Preglednica 2 • Sistemi vstavljanja gradnikov v Legep.

Makro element v Legep-u	Grobi element v Legep-u	Avtomatski izvoz iz ArchiCAD-a in vpis 1:1 v Legep (schedules)	Avtomatski izračun v Legep-u
Außenwand			
133532322	335.3	AW Kalkzementputz, 2-lagig, gerieben, Dispersion	132,490 m ² 30,12 € 3.990,60 € 2,54 %
133142123	331.4	Stahlstaender, 1/2 IPE, ZE 200 mm, OSB 12mm innen, Kerto-Q 27mm außen	122,300 m ² 79,43 € 9.714,29 € 7,16 %
133649923	336.4	AW Vakuumisoliationspaneel 30 mm, innenseitig	104,740 m ² 56,75 € 5.944,00 € 4,38 %
133643113	336.4	AW Vorsatzschale GK innen, CW 50/62,5, GK 12,5 mm	90,810 m ² 22,74 € 2.065,02 € 1,52 %
133638122	336.3	AW Lehmputz innen, 2-lagig	90,810 m ² 25,53 € 2.318,38 € 1,71 %
134521311	345.2	IW Dispersion auf Putz, waschbeständig	90,810 m ² 3,01 € 273,34 € 0,20 %
133047923	330.4	AWK Atika aus Holz, BSH, MW 160, Plattenschalung, Lasur	18,680 m ² 95,23 € 1.778,90 € 1,31 %
Drobni elementi v Legep-u		Avtomatski uvoz iz baze SirADos	

Slika 9 • Prikaz dela vnosa podatkov za zunanji zid v konstrukcijskem sistemu Canopea, izvoženih iz Archicada in vstavljenih v orodje Legep, z uporabo grobih in drobnih elementov baze SirADos.

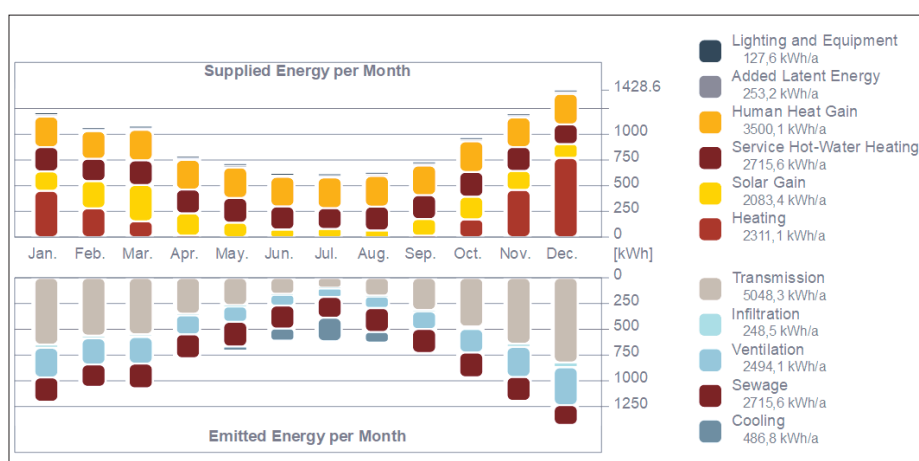
³ Podrobnejša metodologija LCC-analize in razširjena predstavitev modela sta predstavljeni v študiji, ki sta jo opravila Jaušovec in Sitar (Jaušovec, 2017).

4 • REZULTATI

V raziskavi smo prišli do določenih zaključkov, ki se odražajo v rezultatih študije primera. Ugotovili smo, da v kolikor želimo analizirati stroške skozi celoten življenjski cikel stavbe, je treba najprej analizirati energijsko rabo obratovanja le-te. Ta del smo izvedli v programskem orodju Archicad z analizo različnih kazalnikov, kot so potrebe po energiji za ogrevanje in hlajenje stavbe ter energiji za ogrevanje sanitarne vode. Mesečna energijska bilanca z vsemi vhodnimi in izhodnimi energijskimi tokovi je prikazana na sliki 10.

Ključni rezultati energijske analize stavbe, ki smo jih uporabili v LCC, so prikazani v tabeli 3. Podatke o energijski rabi stavbe, ki smo jih uporabili za uvoz v Legep, predstavljajo del stroškovne analize v času uporabe objekta.

V Legepu izračunani stroški gradnje vzorčnega primera hiše v konstrukcijskem sistemu Canopea so predstavljeni v tabeli 4 in v bruto znesku znašajo 148.624,67 EUR. Stroškovna analiza v Legepu je po DIN276 ločena na posamezne segmente gradnje stavbe:



Slika 10 • Rezultati energijske analize stavbe v orodju Archicad.

gradbeno konstrukcijo (300), ki med drugim zajema zemeljska dela, zunanje zidove, okna, senčila, streho, notranje zidove in strojne instalacije (400).

Nadaljnji stroški, ki vključujejo stroške čiščenja, dobave in odstranjevanja, vzdrževanja in popravil za življenjsko dobo stavbe 50 let po DIN 276 in DIN 18960 so predstavljeni v preglednici 5 kot letni stroški.

Iz preglednice je razvidno, da so zelo visoki stroški popravil. Ti povprečno letno obsegajo kar 2472,26 € neto, kar je več kot stroški oskrbe in odstranjevanja, ki vsebujejo tudi stroške za porabo energije predstavljene v preglednici 3. Zaradi dobrega toplotnega ovoja in uporabe toplotne črpalke objekt namreč nima visokih stroškov pri oskrbi z energijo.

Skupni stroški gradnje objekta in operativni stroški so prikazani v preglednici 6, ki ponazarja tudi sedanje vrednosti objekta za obdobje 50 let.

Rezultati LCC-vrednotenja nam pokažejo, da stroški gradnje znašajo približno 59 % celotne sedanje vrednosti stavbe, nadaljnji stroški pa kar 41 % sedanje vrednosti stavbe za enako obdobje 50 let. Stroški vzdrževanja znašajo 15.012,09 EUR, stroški servisiranja in popravil pa kar 45.883,56 EUR. To pomeni, da bi skupni stroški LCC za gradnjo in vzdrževanje stavbe za obdobje 50 let znašali 202.362,15 EUR neto.

Ogrevanje v kWh/a	Priprava tople vode v kWh/a	Hlajenje v kWh/a	Razsvetljava v kWh/a	Elektrika za toplotno črpalko v kWh/a
2311.1	2715.6	486.8	127.6	1734.0

Preglednica 3 • Ključni rezultati energijske analize BEM modela v kWh/a.

Canopea / Nr. DIN276 (2008)	Skupaj neto v €	Na BTP ⁴ v €/m ²
Gradbena konstrukcija (300)	90.937	723
Zemeljska dela	585	5
Zunanji zidovi	48.132	382
Okna	14.438	/
Senčila	6.631	/
Streha	14.590	116
Notranji zidovi	6.655	53
Strojne instalacija (400)	28.523	227
Neto gradbeni stroški (300 in 400)	119.460	/

Preglednica 4 • Rezultati vrednotenja stroškov gradnje v orodju Legep.

⁴ BTP – bruto tlorisna površina.

Nadaljnji stroški	Neto v €	Delež stroškov proizvodnje v %	Bruto v €
Čiščenje na leto	237	0,20	260
Oskrba in odstranjevanje na leto	736	0,62	806
Vzdrževanje na leto	289	0,24	812
Popravila na leto	2.472	2,07	2.707

Preglednica 5 • Rezultati vrednotenja letnih stroškov v orodju Legep.

Skupni stroški	Neto v €	Delež stroškov proizvodnje %	Sedanja vrednost v €
Stroški gradnje (KG 300 in 400) (neto)	119.460		119.460
Čiščenje	237	0,20	5.793
Vzdrževanje	289	0,24	15.012
Popravila (KGR 300/400)	2.472	2,07	45.884
Oskrba in odstranjevanje	736	0,62	16.214
Skupni stroški	Sedanja vrednost v €		Sedanja vrednost/bruto površina v €/m²
Stroški gradnje in nadaljnji stroški (LCC)	202.362		1.608

Preglednica 6 • Rezultati vrednotenja LCC za konstrukcijski sistem Canopea v orodju Legep (DIN 276 + DIN 18960).

5 • SKLEP

V članku je prikazana povezava orodij BIM in LCC v zgodnji fazi projektiranja z namenom omogočiti celovito oceno stroškov skozi celotni življenjski cikel stavbe. Pri tem smo se opirali na trditve Hoferja, da je možno približno 80 % prihranka vseh investicijskih in obratovalnih stroškov opredeliti že v zgodnji fazi projektiranja (Hofer, 2011). Za ekonomsko vrednotenje smo razvili razširjeni model, ki se opira na t. i. opredelitev namenov uporabe BIM po Kreiderju in Messnerju (Kreider, 2013). V razširjenem modelu vrednotenja stavbe smo uporabili BIM-model za nadaljnjo energijsko analizo in vrednotenje LCC. Celovito vrednotenje vključuje stroške gradnje, obratovanja, vzdrževanja in obnove stavbe za obdobje 50 let, v katere niso vključeni stroški rušenja, odstranjevanja in ponovne uporabe materialov. Veliko obstoječih študij na temo ekonomskega vrednotenja stavb in stavbnih ovojev se analiz ni lotilo celovito, ampak le z delno obravnavo stroškov v življenjskem ciklu stavbe. Naj-večkrat so ti stroški povezani z začetno investicijo in/ali porabo energije, ne vključujejo pa stroškov vzdrževanja, popravil, zamenjave in čiščenja, ki v življenjski dobi stavbe predstavljajo velik

delež. Hkrati številne študije, ki niso uporabljale BIM, niso privedle do natančnih podatkov in posledično kakovostnih rezultatov. V aplikaciji se študija razlikuje od drugih, znanih iz literature, ki primarno teoretično analizirajo prednosti ali različne modele vrednotenja, pri tem pa zanemarijo empirični pristop. Predstavljena študija se razlikuje od študij, znanih iz literature, ki primarno teoretično analizirajo prednosti ali različne modele vrednotenja, pri tem pa zanemarijo empirični pristop. Pri tem sta se za izjemno težavni pokazali kompleksnost in dolgotrajnost analiz, kar je privedlo do necelovitih ekonomskih analiz. Model ekonomskega vrednotenja, ki smo ga razvili, z uporabo BIM in BEM ter obsežne podatkovne baze gradbenih elementov omogoča celovitost analitičnih postopkov in natančnost pridobljenih podatkov že v zgodnji fazi projektiranja. Model vključuje dinamične izračune LCC, ki upoštevajo ključne ekonomske dejavnike (inflacijo stroškov gradnje, inflacijo cen energentov, realno obrestno mero ter kapitalsko obrestno mero), na osnovi katerih so končne vrednosti podane v sedanji vrednosti.

Vrednotenje celovitih stroškov stavbe, izvedljivo v zgodnji fazi projektiranja, povezu-

je gradbeno-informacijsko modeliranje BIM z analizo stroškov življenjskega cikla LCC. Pri tem se naslanja na uporabo BEM-modela za energijsko analizo ter natančne popise materialov, ki jih je mogoče izvoziti iz BIM-modela. Ključnega pomena je izkoriščanje samodejnega avtomatiziranega postopka v računalniškem okolju, ki uporablja več programskih orodij: Archicad za pripravo BIM, BEM in izvoz natančnih količin popisov, potrebnih za celovito LCC-analizo ter programsko opremo Legep za pripravo LCC-izračunov na osnovi podatkovnih baz o cenah gradbenih storitev. Legep omogoča avtomatiziran proces z uporabo prednastavljenih makro-elementov baze podatkov SIRADOS, ki se je v zadnjih 30 letih razvila v eno vodilnih na trgu dokumentacije stroškov gradbenih del v Evropi (SIRADOS, 2016). Baza podatkov izrazito poenostavlja LCC-analizo z uporabo grobih in drobnih elementov, kar omogoča vrednotenje že v zgodnji fazi načrtovanja stavbe. Predstavljen razširjeni model ekonomskega vrednotenja stavbe dokazuje, da je LCC-analiza stavbe z uporabo BIM-modela mogoča že v zgodnji fazi projektiranja. Prav tako predstavlja pomembno orodje z neposrednimi ekonomskimi učinki pri sprejemanju odločitev vseh deležnikov v načrtovanju, gradnji in uporabi stavbe.

6 • LITERATURA

- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., A Multi-Objective Feedback Approach for Evaluating Sequential Building Design Decisions, *Automation in Construction*, 45, 136–150, 2014.
- BS ISO 15686-5:2017 Buildings and Constructed Assets—Service-Life Planning. Part 5: Life-Cycle Costing, www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686-5:ed-2:v1:en, 2019.
- Cafuta, M., Open Space Evaluation Methodology and Three Dimensional Evaluation Model as a Base for Sustainable Development Tracking, *Sustainability*, 7(10), 13690–13712, 2015.
- Deshpande, A., Azhar, S., Amireddy, S., A Framework for a BIM-Based Knowledge Management System, *Procedia Engineering*, 85, 113–122, 2014.
- EcoDesigner STAR User Manual; GRAPHISOFT: Budapest, 2014.
- EPBD, Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the council, Official Journal of the European Communities, eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0071:EN:PDF, 2019.
- Evropska komisija, Energy performance of buildings, ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/, 2019.
- Far, M. S., Duarte, C., Pastrana, I.A., Building Information Electronic Modeling (BIM) Process as an Instrumental Tool for Real Estate Integrated Economic Evaluations, *Proceedings of the 22nd Annual European Real Estate Society Conference*, Istanbul, Turkey, 2015.
- Ferrara, M., Fabrizio, E., Virgone, J., Filippi, M., Energy Systems in Cost-Optimized Design of Nearly Zero-Energy Buildings, *Automation in Construction*, 70, 109, 2016. 70, 109.
- Fuller, K. S., Petersen, R. S., Life cycle costing manual for federal energy management program, Gaithersburg, 1996.
- Hofer, G., Herzog, B., Grim, M., Leutgöb, K., Calculating Life Cycle Cost in the Early Design Phase to Encourage Energy Efficient and Sustainable Buildings, *ECEEE 2011 Summer Study, Energy Efficiency First: The Foundation of a Low-Carbon Society*, ECEEE: Stockholm, Sweden, 1074, 2011.
- Jaušovec, M., Sitar, M., Comparative Evaluation Model for Smart Envelope Systems, *Energy efficiency*, University of Maribor Press, Maribor, 153–157, 2017.
- Koenig, H., LEGEP-Handbuch für die Gebäudezertifizierung, Weka media, Kissing, 2012.
- Koenig, H., Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden
- Lebenszyklusanalyse mit Berechnung der Ökobilanz und Lebenszykluskosten, Endbericht, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Gröbenzell, 2017.
- Kreider, R., Messner, J., The Uses Of BIM: Classifying And Selecting BIM Uses, Version 0.9, The Pennsylvania State University, 10–11, 2013.
- Langdon D., Life Cycle Costing (LCC) as a Contribution to Sustainable Construction, Guidance on the Use of the LCC Methodology and Its Application in Public Procurement, Davis Langdon Management Consulting, London, 3, 2007.
- Love, P., Liu, J., Matthews, J., Sing, C., Smith, J., Future Proofing Ppps: Life-Cycle Performance Measurement And Building Information Modelling, *Automation in Construction*, 56, 26–35, 2015.
- NBIMS, National Institute of Building Sciences, National Building Information Model Standard Version 1.0- Part 1: Overview, Principles, and Methodologies, National Institute of Building Sciences, Oslo, 2007.
- PURES, Pravilnik o učinkovitih rabi energije v stavbah, 2010, Zakon o graditvi objektov RS, <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV10043>, 2019.
- Ren, G., Li, H., BIM Based Value for Money Assessment in Public-Private Partnership, *Collaboration in a Data-Rich World*, Springer, Cham, 51-62, 2017.
- Sakikhales, M. H., Stravaravdis, S., Using BIM to Facilitate Iterative Design, *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, 149, 9–19, 2015.
- SDE, Solar Decathlon Europe, 2019, <https://solardecathlon.eu/press/>, 2019.
- SIRADOS, <http://lekep.de/uber-uns/sirados/>, 2016.
- Skalicky, V., Čerpes, I., Comprehensive assessment methodology for liveable residential environment, *Cities*, 94, 44–54, 2019.
- SURS, Statistični urad Republike Slovenije,
- Količina energije, namenjene končni rabi, je v letu 2017 znašala 206.000 TJ, *Energetska statistika*, Slovenija, 2018.
- White, G., Boyne, P., Facilities Management, BIM and Quantity Surveying, Routledge, Abingdon, 2016.
- Yin, B., Laing, R., Leon, M., Mabon, L., An evaluation of sustainable construction perceptions and practices in Singapore, *Sustainable Cities and Society*, 39, 2018.
- Zavrl, M., Gjerkeš, H., Tomšič, M., Integration of Nearly Zero Energy Buildings in Sustainable Networks – a Challenge for Sustainable Building Stock, *World engineering forum* 2012, 163, 2012.
- Žula, T., Kravanja, S., Božičnik, S., Optimizacija trajnostnega dobička, ustvarjenega pri proizvodnji nosilcev, *Gradbeni vestnik*, 68, 279–284, 2019.